

Fallout in Regen, Staub und Boden und seine Absorption in Pflanzen

INAUGURALDISSERTATION

der philosophischen Fakultät II der Universität
Bern zur Erlangung der Doktorwürde, vorgelegt von

IRENE MERK
aus Zürich

Von der philosophischen Fakultät II auf Antrag
des Herrn Professor F. G. Houtermans angenommen

Bern, den 25. Februar 1966

Der Dekan:

sig. Professor Dr. M. Welten

Gedruckt im EIR Würenlingen, 1966

Fallout in Regen, Staub und Boden und seine Absorption in Pflanzen

INAUGURALDISSERTATION

der philosophischen Fakultät II der Universität
Bern zur Erlangung der Doktorwürde, vorgelegt von

IRENE MERK
aus Zürich

Von der philosophischen Fakultät II auf Antrag
des Herrn Professor F. G. Houtermans angenommen

Bern, den 25. Februar 1966

Der Dekan:

sig. Professor Dr. M. Welten

Gedruckt im EIR Würenlingen, 1966



INHALTSVERZEICHNIS

I	EINLEITUNG	3
II	METHODIK	4
	1. Probengewinnung	4
	a) Periodische Versuchsreihe: Kresse, Gras	4
	b) Vergleichsproben von Fallout-Sammlern	5
	c) Nahrungsmessreihe: Gemüse, Getreide	7
	2. Probenverarbeitung	8
	3. γ -Spektrometrie	9
	a) Apparatur	9
	b) Untersuchte Nuklide	10
	c) Messgeometrie	11
	d) Herstellung der Eichproben	12
	4. Auswertung der γ -Spektren: Computerprogramm	14
III	ERGEBNISSE	17
	1. Nahrungsmittelmessreihe	17
	a) Die gemessenen Aktivitäten	17
	b) Beziehungen zwischen der Aktivität verschiedener Isotope	18
	c) Die Verteilung der Aktivität in der Pflanze	22
	2. Physikalische Fallout-Sammler	24
	3. Periodische Versuchsreihe mit Kresse und Gras	25
	a) Die gemessenen Aktivitäten	25
	b) Der Bodeneinfluss bei der periodischen Versuchsreihe	26
	4. Vergleich zwischen Pflanze und physikalischem Fallout-Sammler	27
	a) Periodische Versuchsreihe	27
	b) Nahrungsmittelmessreihe	29
IV	ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSBEMERKUNGEN	34
ANHANG 1:	Chemische Analysen	35
	a) Bestimmung des Sr-90-Gehaltes	35
	b) Bestimmung des Ca-Gehaltes	37
ANHANG 2:	Tabellen	
ANHANG 3:	Figuren	
	LITERATURVERZEICHNIS	
	VERDANKUNGEN	
	LEBENS LAUF	

I EINLEITUNG

In der vorliegenden Arbeit, die auf Anregung von Mitgliedern der Eidg. Kommission zur Ueberwachung der Radioaktivität entstand, wurde versucht, die Höhe der Radioaktivität von Pflanzen mit derjenigen von physikalischen Fallout-Sammlern zu vergleichen. Dabei sollten insbesondere solche Pflanzen untersucht werden, die für die menschliche Ernährung eine wichtige Rolle spielen. Diese Pflanzen sollten zudem unter Bedingungen wachsen und geerntet werden, die den üblichen Bedingungen entsprechen, und die Ablagerung des Fallout auf den Pflanzen sollte durch die natürlichen atmosphärischen Prozesse erfolgen, so dass Versuche mit künstlichen Verseuchungen durch Besprühen oder andere Methoden nicht in Frage kamen.

Ferner wollte man durch Aufspalten der Pflanze in ihre morphologischen Teile (Wurzel, Stengel, Blatt, Frucht etc.) das Verhältnis der Aktivität in den essbaren Teilen zur Aktivität in der ganzen Pflanze finden.

Ebenso wurden die Sr/Ca-, Ca/K-, Sr/K-, Sr/Cs- und Sr/total γ -Verhältnisse differenziert für alle Pflanzenteile gebildet und Diskriminierungsfaktoren Wurzel-Pflanze, insbesondere essbare Teile, ermittelt.

Durch periodische Ernten von bedeckt und unbedeckt wachsenden Pflanzen (Gras + Kresse) wurde versucht, Bodenaufnahme und direkte Aufnahme aus dem Fallout zu differenzieren. Diese Versuche waren die notwendige Voraussetzung zu einer entsprechenden Differenzierung bei den anderen Pflanzen.

Die Bestimmung des Fallouts erfolgte (ausser Sr-90) durch γ -Spektrometrie. Die Messung schwacher Aktivitäten ohne chemische Trennung oder Anreicherung war nur möglich durch die Verwendung eines Verstärkungsstabilisators und der Auswertung mit Computerprogramm.

II METHODIK

1. Probengewinnung

a) Periodische Versuchsreihe: Kresse, Gras

Auf dem Gelände des EIR, der sogenannten Zentralstation mit den Apparaten zur Routineüberwachung der Radioaktivität, wurde in einer Naturwiese ein Versuchspflanzgelände von 10 m² angelegt.

Die Beete für Gras als erste Versuchspflanze wurden durch Einlegen von 10 cm tiefen Holzrahmen von 1 m Seitenlänge in die Naturwiese hergestellt. Für Kresse (*lepidum sativum*) als zweite Versuchspflanze wurde ein Beet von 1 m Seitenlänge ausgehoben und durch Zusammentragen von Erde aus den oberen 5 cm Boden des Standortes gefüllt.

Die Hälfte der Beete wurde mit Plastiktreibkästen ohne Lüftung (Eigenkonstruktion) bedeckt, Fig. 1. Diese Treibkästen gestatteten eine vollständige Bedeckung und vollkommenen Schutz vor Staub und Regen, sowie vor Austrocknung. Da in diesen Treibkästen bei Sonnenschein eine tropische Atmosphäre herrschte, lässt sich der bessere Ertrag dieser bedeckten Beete durch die Temperaturerhöhung erklären. Fig. 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8.

Die Ernte erfolgte regelmässig alle drei Wochen. Dabei wurden alle in die Versuchsreihe eingehenden Proben praktisch gleichzeitig entnommen, so dass keine Zerfallskorrekturen notwendig wurden.

Das Gras der Versuchsbeete bestand aus dem ungestörten Bewuchs der Naturwiese. Es wurde mit einer Gartenschere bis auf knapp 1 cm Höhe zurückgeschnitten. Beim Vergleich der Aktivität dieses Grases mit derjenigen auf den andern Fallout-Sammlern wurde

angenommen, dass das zwischen zwei Grasschnitten gewachsene Gras nur während einer Wachstumsperiode (3 Wochen) mit Fallout verseucht wurde. Diese Annahme darf sicher getroffen werden, da der Fehler, der dadurch entsteht, dass beim Nachwachsen des Grases sowohl neue Blätter aus Stengelknoten auswachsen, als auch ein Strecken des Stengels erfolgt, vernachlässigbar ist.

Die zweite Versuchspflanze, Kresse, wurde bei der Ernte ganz ausgezupft. Dann wurden die Wurzeln abgeschnitten und Blätter und Wurzeln zu getrennten Proben zusammengefasst. Nach jeder Ernte wurden die Beete umgegraben. Für jede Saat wurden 10 g Gartenkressesamen (krause, gefüllte) verwendet.

b) Vergleichsproben von Fallout-Sammlern

Das Sammeln von Fallout vermitteltst gummiertem Papier oder anderen, klebrigen Flächen ist seit Jahren, von den USA ausgehend, eine einfache und weitverbreitete Methode zur Erfassung des Gemisches aller Fallout-Arten gewesen.

Im EIR Würenlingen werden Plexiglasplatten von einem Zehntel m² Oberfläche mit reiner Vaseline bestrichen. Nach der Expositionszeit wird diese mit Aerosolen bedeckte Vaseline mit einem flexiblen Spachtel abgelöst und unter leichtem Erwärmen (Infrarotlampe, Temperatur nicht über 50° C) homogen vermischt in Stahlschälchen (Ø 25 mm) eingefüllt. Gegenüber dem Verbrennen eines gummierten Papiers bringt also die Vaseline den Vorteil der niedrigeren Verarbeitungstemperaturen mit sich und damit die Sicherheit, dass man keine Verluste hat.

Es hat sich gezeigt, dass diese Vaseline die gleichen Rückhalteeigenschaften wie der Klebstoff der amerikanischen gummed papers

besitzt. Versuche im EIR zeigten auch, dass Aerosol-Partikel, die einmal auf der Vaseline haften, nicht mehr abgelöst oder abgewaschen werden (1).

Das Auffangen des Fallout-Gehaltes des Regens durch die mit Vaseline bestrichenen Plexiglasplatten (im folgenden kurz Vaselineplatten genannt) ist dagegen nicht quantitativ und es empfahl sich daher in unserem Falle, die Vergleichsmessungen durch getrenntes Sammeln von Regenwasser und durch einen Fallout-Totalisator zu ergänzen.

Für die Messungen der Niederschlagsaktivität wurde der Regensammler Typ KUeR von 1 m² Oberfläche verwendet. Obwohl dieser Regensammler täglich gespült und nach jedem Niederschlag geleert wird, ist nicht zu vermeiden, dass ein kleiner, als vernachlässigbar angesehener Teil, der Trockendeposition mitkommt.

Von dem gesammelten Wasser wurde ein aliquoter Anteil zu einer Dreiwochen-Probe verarbeitet. Nachdem dem Wasser HNO₃ bis pH 4 und 0,5 ml Trägerlösung pro Liter Regenwasser zugesetzt worden war, wurde es im Eindampflabor eingedampft. Die Trägerlösung bestand aus:

50 mg Strontiumnitrat
 50 mg Bariumnitrat
 50 mg Lanthannitrat
 50 mg Zirkonnitrat
 50 mg Cernitrat
 100 mg Natriumthiosulfat
 10 g Komplexon III

gelöst zu 1000 ml mit H₂O. Sie hat den Zweck, Aktivitätsverluste während der Eindampfoperation zu vermeiden.

Der Rückstand wurde mit Salpetersäure und destilliertem Wasser in ein gewogenes Messschälchen übergeführt, getrocknet und

leicht erhitzt (Maximaltemperatur 100°C). Zuletzt wurde die Regenprobe mit einigen Tropfen Zaponlacklösung fixiert.

Zur Erfassung des höchstmöglichen Fallouts auf eine horizontale Fläche wurden die Werte eines Fallout-Totalisators des EIR benutzt. Es handelt sich dabei um einen Polyaethylen-Trichter von 444 cm^2 innerer Querschnittsfläche mit Ueberlauf in ein grösseres Vorratsgefäss. Der Trichter ist stets bis zum Ueberlauf mit aqua dest. gefüllt, so dass er für trockenen Fallout als quantitativ wirksam betrachtet werden kann. Regenwasser fliesst ebenfalls verlustlos in das Vorratsgefäss ab. Der Totalisator wird in 14-tägigen Perioden geleert und der Trichter neu mit aqua dest. gefüllt. Das Wasser wird wie eine Niederschlagsprobe verarbeitet.

c) Nahrungsmessreihe: Gemüse, Getreide

Die eidg. landwirtschaftlichen Versuchsanstalten in Wädenswil und Oerlikon stellten uns in verdankenswerter Weise Gemüse und Getreide zur Verfügung, welche im Katastrophenfall eine Gefährdung des Menschen durch Verseuchung mit radioaktivem Ausfall darstellen können. Diese ausgewählten Arten von Gemüse und Getreide wurden dort unter natürlichen Wachstums- und Umweltbedingungen gezogen. Zur Erntezeit eines Produktes wurde die Grösse des Probefeldes ermittelt, um die Beziehung kg Ernte pro angebaute Fläche zu erhalten. Auch die Wurzeln wurden zu einer Probe zusammengefasst. Ebenso wurde gleichzeitig eine Bodenprobe von 0 - 10 cm Tiefe und eine von 10 - 20 cm aus dem Versuchsfeld entnommen und eine dort während der ganzen Wachstumsperiode aufgestellte Vaselineplatte weggenommen. Durch die Aufstellung dieser Vaselineplatten soll die Möglichkeit zum Vergleich der Falloutaktivitäten an den Versuchsanstalten und dem EIR geschaffen werden.

2. Probenverarbeitung

Für die Messungen der beiden Versuchsreihen und der Vergleichsproben hatte man sich folgende Ziele gesetzt, die bei der Probenverarbeitung eine Rolle spielten:

1. Die essbaren Teile sollten bis zur Präparation vor der Messung der Aktivität möglichst gleichartig behandelt werden, wie dies in Handel und Haushalt üblich ist.
2. Die restlichen Pflanzenteile wollte man ebenfalls ohne chemische Bearbeitung zur Messung bringen.
3. Auch die Fallout-Vergleichsproben sollten möglichst wenig verarbeitet werden.

Diesen Forderungen trug man in folgender Weise Rechnung:

Nach der Bestimmung des Frischgewichtes wurden die Proben im Labortrockenschrank oder auf einem Dörrapparat (Marke Dörrex) getrocknet (Maximaltemperatur 90°C) und ihr Trockengewicht bestimmt.

Da für die γ -Spektrometrie-Messungen eine wohl-definierte Geometrie nötig ist, wurden die Proben im trockenen, unzerkleinerten Zustand pulverisiert (Liliputmühle (2); diese Mühle hat neben ihrer Handlichkeit den Vorzug leicht demontierbar zu sein). Nach dem Mahlen jeder einzelnen Probe wurde die Mühle entleert und gereinigt, wodurch eine Vermischung der Proben vermieden werden konnte.

Die Verarbeitung der Vergleichsproben von den Fallout-Sammlern wurde in II, 1.b) beschrieben.

Nach diesen Verarbeitungsmethoden war man im Besitze von

pflanzlichen Pulvern	einer Dichte von $0,3 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$
Vaseline	einer Dichte von $0,9 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$
Regenrückständen	einer Dichte von $0,45 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$

3. γ -Spektrometrie

a) Apparatur

Die Messungen der γ -Spektren von Regenrückständen, Bodenproben und pflanzlichen Pulvern erfolgt mit einem 3×3 " NaI (Tl)-Szintillatorkristall (Harshaw integral Line mit RCA-Photomultiplier 8054), einem Vorverstärker (Impedanzwandler) (Abt. PH des EIR) und dem 512-Kanalanalysator der Firma Nuclear Data (ND 180 FMR). Dieses Spektrometer besitzt einen Lochstreifenstanzer. Diese Lochstreifen (8 er-Code) können direkt von der im EIR vorhandenen Rechenanlage verarbeitet werden (ZUSE). Im weiteren besitzt der ND eine Recheneinheit, die es gestattet, beliebige Spektren mit beliebigen Faktoren zu addieren oder subtrahieren, z.B. für Spektrum-stripping. Ferner können die Spektren in dieser Recheneinheit integriert werden.

Um trotz einer weitgehenden Abschirmung gegen die Umgebungsstrahlung (20 cm Fe, 2,5 cm Hg) eine einigermaßen befriedigende Statistik zu erhalten, mussten die γ -Spektren der zum Teil sehr schwach aktiven Proben während 1000 Minuten aufgenommen werden. Wenn man dazu bedenkt, dass 170 Proben untereinander vergleichbar gemessen werden mussten, so sieht man ein, dass die Anforderungen an die Langzeitstabilität des γ -Spektrometers sehr hoch waren, konnte man doch keinen Shift oder Drift zulassen.

Dieses Problem wurde mit der Verwendung des Verstärkungssta-

bilisators von A. Comunetti (3) gelöst, der auf dem Prinzip des Vergleichs zweier Impulsfrequenzen beruht. Eine dieser Frequenzen wird von einer Referenzquelle (0,1 mC Cs-137) geliefert, die andere von einem Standardoszillator.

b) Untersuchte Nuklide

Nachdem diese apparativen und messtechnischen Details geklärt und gelöst worden waren, mussten die noch messbaren Radionuklide der Proben von 1964 ermittelt werden. Es sind dies:

Radionuklid	Halbwertszeit (Tage)	Ausbeute bei der Spaltung (%)	γ -Energie* (MeV)
Cer-144 + Praseodym-144	285	6,1	0,07; <u>0,13</u> ; 1,48
Antimon-125 + Tellur-125	730	0,024**	0,18; <u>0,43</u> ; 0,6
Ruthenium-106 + Rhodium-106	360	0,38	<u>0,51</u> ; 0,62; 1,14
Caesium-137 + Barium-137m	11 100	5,9	0,032; <u>0,66</u>
und das durch die bei nuklearen Explosionen auftretenden hohen Neutronenflüsse gebildete			
Mangan-54	278		<u>0,84</u>
für dessen Entstehung die Reaktionen Mn-55 (n,2n) Mn-54 und Fe-54 (n,p) Mn-54 in Frage kommen.			

* Hauptenergien unterstrichen

** Stammt jedoch überwiegend aus der Aktivierung von Strukturmaterialien.

Daneben sind noch Sr-90 und Pm-147 als β -Strahler anwesend, wovon jedoch nur Sr-90 auf radiochemischem Wege bestimmt wurde. Andere Radionuklide waren wegen ihrer zu kurzen Halbwertszeiten beim Beginn der Messungen im Mai 1965 bereits abgeklungen, wie die Messungen einwandfrei bestätigten.

Fig. 9 bestätigt die heutige Situation der noch vorhandenen Radionuklide.

c) Messgeometrie

Die Probengeometrie der Regenrückstände und der Vaseline war von Anfang an durch die dafür gebräuchlichen Stahlschälchen von 30 mm $\varnothing$ gegeben. Die Vaseline war darin 5 mm hoch, die Regenrückstände 1 mm.

Bei den pflanzlichen Pulvern standen sich zwei Möglichkeiten gegenüber:

1. man kann die Proben als unverdichtete Pulver (Dichte 0,3 g/cm³) messen und die Eichproben anpassen, oder
2. man kann die pflanzlichen Pulver auf eine Dichte von 1 g/cm³ bringen (pressen), damit als Eichproben Standardlösungen verwendet werden können.

Pressversuche in einem 30 mm $\varnothing$ Stahlschälchen mit einer Handpresse mit 2 t ergaben, dass der apparative und zeitliche Aufwand des Pressens in keinem Verhältnis zur Vereinfachung des Eichverfahrens steht, umsomehr als die gepressten Pulver ohne Fixierung kaum längere Zeit in derselben Geometrie haltbar waren. Die Proben wurden also als unverdichtete Pulver gemessen.

Versuche mit Cs-137-Lösungen auf der Spektrometeranlage gaben Auskunft über die Probengeometrie, bei der die höchste Zähl- ausbeute erreicht wird. Das ist eine breite, niedrige Anordnung direkt auf dem Kristall. Aus diesem Grunde wurden 1,5 cm hohe Messschalen mit 7,5 cm $\varnothing$ auf den Kristall gestellt. Darin hatten jedoch bei der Dichte von $0,3 \text{ g/cm}^3$ nur etwa 20 g Pflanzenpulver Platz. Bei der periodischen Versuchsreihe stand pro Probe kaum mehr Material zur Verfügung. Bei grösseren Probenmengen jedoch, vor allem bei Gemüse und Getreide, wählte man entsprechend höhere Messschalen von 7,5 cm $\varnothing$ und 5 cm Höhe.

d) Herstellung der Eichproben

Um die γ -Spektren der Proben der beiden Versuchsreihen mit dem unter 4. beschriebenen Computerprogramm auszuwerten, war es nötig, dass von den einzelnen, im Fallout noch vorhandenen Radionukliden ein Vergleichsspektrum zur Verfügung stand, das bei bekannter Aktivität in derselben Geometrie und mit möglichst gleicher Masse aufgenommen wurde.

Dazu wurde ein Material gesucht, das eine Dichte von $0,3 \text{ g/cm}^3$ (Dichte der pflanzlichen Pulver) besitzt. Schaumstoffscheiben mit dieser Dichte wurden versuchsweise mit radioaktiver Lösung getränkt. Wegen der Verluste beim Aufsaugenlassen (Fehler beim Wägen) und der Schwierigkeit, eine homogene Verteilung zu erhalten, erwies sich dieses Material als ungeeignet.

Hingegen wurden mit Sägemehl (Dichte $0,29 \text{ g/cm}^3$) gute Resultate erzielt, da

- die Menge der aufgesaugten Lösungen und damit die Aktivität genau bestimmbar ist,
- eine homogene Verteilung der Lösung gesichert ist (Messungen

von gewogenen Anteilen bestätigten dies),

- die Eigenaktivität des Sägemehls vernachlässigbar ist.

Das mit radioaktiven Lösungen getränkte Sägemehl wurde alsdann in die Messschalen 7,5 cm Ø x 1,5 cm und 7,5 cm Ø x 5 cm eingefüllt und unter der Ultraviolettlampe getrocknet.

Für die Vergleichsproben der Regenrückstände wurde Calciumcarbonatpulver (CaCO_3 , Dichte $0,39 \text{ g/cm}^3$) als Lösungsträger verwendet (Regenrückstands-Dichte $0,45 \text{ g/cm}^3$) und für die Vaseline-Vergleichsproben Aluminiumoxydpulver (Al_2O_3 , Dichte $1,023$) (Vaseline-Dichte $0,9 \text{ g/cm}^3$). Die mit radioaktiven Lösungen getränkten CaCO_3 und Al_2O_3 wurden in die 30 mm Ø Stahlschälchen eingefüllt (1 mm hoch für Regenrückstände, 5 mm hoch für Vaseline).

Von jedem Radionuklid wurde je eine Eichprobe der 4 verschiedenen grossen Messschalen mit folgender Aktivität beschickt:

Ce-144	1,019	$\mu\text{C} \pm 0,1$	Herkunft:	CEA	Eichung 4 π -Counter
Sb-125	1,398	$\mu\text{C} \pm 0,14$		CEA	
Ru-106	1,053	$\mu\text{C} \pm 0,1$		CEA	
Cs-137	0,911	$\mu\text{C} \pm 0,05$		IAEA	Eichung 4 π -Counter
Mn-54	0,2436	$\mu\text{C} \pm 0,025$		EIR	Eichung durch Vergleich mit Standard IAEA
K-40	(7,5 cm Ø x 5 cm)	37 687 pC			als Kaliumazetat (CH_3COOK)
	(7,5 cm Ø x 1,5 cm)	6 930 pC			(für Regenrückstände ³ und Vaseline nicht notwendig, da dort kein K-40 enthalten).

4. Auswertung der γ -Spektren (Computerprogramm)

Die folgenden Angaben wurden zum Teil der TM-CH-71, Computer-Analyse von γ -Spektrogrammen, entnommen (5).

Wenn eine grosse Anzahl Spektren quantitativ ausgewertet werden muss oder wenn die Genauigkeit der graphischen oder der direkten Stripping-Methode nicht ausreicht, lohnt sich das Erstellen eines Computer-Programmes.

Bei Messungen des Fallout wählt man für die Computer-Analyse von γ -Spektren das sogenannte lineare Problem, bei welchem es sich darum handelt, ein Spektrum in seine Komponenten zu zerlegen, wobei die Anzahl und die Natur der Komponenten bekannt sind, sowie die Einzelspektren (Vergleichsspektren) dieser Komponenten experimentell zugänglich sind.

Das Programm versucht also auf mathematischem Wege das zu erreichen, was bisher Ziel chemischer Operationen war, nämlich die Isolierung einzelner Komponenten aus einem Gemisch. Dass eine solche Lösung jedem Physiker erstrebenswert erscheint, muss wohl nicht besonders hervorgehoben werden.

Die mathematische Lösung des Problems erfolgt in folgender Weise:

Das Spektrum einer einzelnen Komponente sei durch n Zahlen (aus n Kanälen) gegeben. Somit kann das komplexe Spektrum von m Komponenten (gegeben durch den Vektor s) durch eine $n \cdot m$ Matrix beschrieben werden

$$s = V \cdot i \quad (1)$$

wobei V die oben erwähnte $n \cdot m$ Matrix und der Vektor i die Intensität jeder Komponente beschreibt.

Weil $n > m$ ist, sind die i überbestimmt und man kann das Prinzip der kleinsten Quadrate darauf anwenden, um die besten Werte für i zu ermitteln.

Die Lösung von (1) ist eine lineare Aufgabe, weshalb man das Problem das lineare Problem nennt.

Die notwendige Normalgleichung dafür lautet:

$$V^T \cdot V \cdot i = V^T \cdot s \quad (2)$$

wobei V^T die transponierte Matrix von V ist.

Nach den angezeigten Matrizenoperationen lässt sich die Gleichung (2) schreiben zu

$$A \cdot i = b$$

und i wird gefunden durch

$$i = A^{-1} \cdot b$$

Alle notwendigen Rechnungen sind routinemässige Computer-Operationen und bereiten keinerlei Schwierigkeiten.

Die Methode liefert ausser den Werten für die Intensität i auch ihre Streuung, sowie einen Least-Square-Fit zur Prüfung, ob Anzahl und Natur der Komponenten richtig vorgegeben wurden.

Im folgenden sollen noch einige der in der Praxis mit dieser Auswertungsmethode auftretenden Schwierigkeiten aufgezeigt werden. Die Methode der kleinsten Quadrate liefert oft auch negative Werte der Intensität i , während sie physikalisch gesehen natürlich nur Null oder positiv sein kann.

Für das Gelingen der Analyse ist die Auswahl der Anzahl und der Natur der Einzelkomponenten entscheidend. Durch die Kenntnis der

Radionuklide des Falloutgemisches im Jahre 1964 (zu Beginn durch Abziehen der einzelnen Nuklide (Spektrum stripping) am ND ermittelt) war es in unserem Falle möglich, diese Auswahl genau zu treffen.

Wie schon in Abschnitt II 3a) erwähnt, setzt die mathematische Analyse voraus, dass die Kanalbreiten beim Vergleichsspektrum und beim komplexen Spektrum gleich gross sind, weshalb das γ -Spektrometer sehr weitgehend frei von Verstärker- und Bias-Drift sein muss.

Das Programm wurde eingehend mit Spektren bekannter Aktivität und Zusammensetzung getestet und die Resultate waren sehr zufriedenstellend (10^{-10} , d.h. Maschinengenauigkeit).

III ERGEBNISSE

1. Nahrungsmessreihe

a) Die gemessenen Aktivitäten

Die nach II 1.c) und II 4. gewonnenen Resultate wurden für die gemessenen Pflanzen nach Pflanzenteilen und nach Radionukliden zusammengestellt (Tab. 1). Die Werte in pC/m^2 geben Aufschluss über die Verteilung der Gesamtmenge des aufgenommenen Radionuklids in der Pflanze und sie können zum Vergleich mit den durch physikalische Fallout-Sammler gefundenen, auf die Flächeneinheit bezogenen Aktivitäten verwendet werden. Die Werte in pC/g Frischgewicht sind in erster Linie für die weiter unten zu diskutierende Auswertung der Messungen zur Feststellung der Verseuchung von Nahrungsmitteln in ihrer natürlichen Form gedacht, dann aber auch zum Anschluss an Versuchsprogramme anderer Institute. Die Werte in pC/g Trockengewicht stellen unserer Meinung nach eine repräsentativere Grösse dar, da der unterschiedliche Wassergehalt der verschiedenen Pflanzen nicht mehr darin enthalten ist, so dass sie sich besser für Vergleiche zwischen verschiedenen Pflanzenteilen und eventuell sogar zwischen verschiedenen Pflanzen eignen. Auf die Bestimmung der Aschengewichte wurde verzichtet, da bei oberirdischen Pflanzenteilen inerter Staub, bei unterirdischen noch anhängende Erdpartikel zu groben Verfälschungen Anlass geben müssten.

Bei Fehlern von mehr als 50 % wurde in allen Tabellen eine obere Grenze - gebildet aus gefundenem Messwert + 2σ - angegeben und als zugehöriger Fehler der Wert der einfachen Streuung in pC/g Trockengewicht / pC/g Frischgewicht / pC/m^2 .

Bei den Werten "Total- γ " wurde das gemessene Spektrum integriert oberhalb der Energie 0 (Nullpunktseichung des Spektrometers mit Hilfe der 32 keV-Konversionslinie von Cs-137). Dieser Total- γ -

Wert stellt aber wegen der verschiedenen Zerfallsschemata der einzelnen Radionuklide nicht die Summe der Einzelaktivitäten dar, sondern die Summe von jeweils 100 % des vorliegenden Sb-125, 26 % des Ru-106, 25 % des Ce-144, 10 % des K-40 und 92 % des Cs-137 bei einer mittleren Ausbeute von 20 % im Kristall des Spektrometers.

Der absolute statistische Fehler der Total- γ -Werte wurde nicht angegeben. Bei einer Zählrate des Bruttoeffektes in der Grössenordnung des Nulleffektes ist er durch den statistischen Fehler des Bruttoeffektes gegeben.

b) Beziehungen zwischen der Aktivität verschiedener Elemente und Isotope

Um die Beziehungen zwischen der Aktivitätsaufnahme in die Pflanze von oben und unten (Boden), von radioaktiven zu inaktiven Stoffen (Mineralgehalt), sowie zwischen einzelnen radioaktiven Isotopen zu prüfen, wurden die Verhältnisse zwischen chemisch verwandten Isotopen Sr/Ca und Cs/K (aktiv/inaktiv), ferner zwischen Sr-90 und Cs-137 (aktiv/aktiv) sowie zwischen Sr-90 und den Total- γ -Werten zusammengestellt (Tab. 2); die letzteren Verhältnisse sind auch für die Möglichkeit der indirekten Bestimmung von Sr-90 von Bedeutung, dessen direkte Bestimmung sehr zeitraubend ist. Das Verhältnis Sr-90/K ist ebenfalls in die Tabelle aufgenommen, wird hier aber nicht weiter betrachtet.

Fig. 10, 11, 12 und 13 zeigen diese Werte-Paare graphisch unter Berücksichtigung der Morphologie der Pflanzenteile, die untersucht wurden. Es gelten folgende Legenden:

Pflanzenteile:

Wurzeln	◇	essbar	◇
Stengel	△	essbar	△
Blätter	○	essbar	⊗
Früchte	□	essbar	⊠
Schalen	●		

Uebersicht über Pflanzenart, Pflanzenteil und Kennzahl:

Art	Kenn- zahl	Bezeichnung des Pflanzenteiles							
Weizen	1	Körner	⊠ ₁	Spreu	□ ₁	Stroh	△ ₁	Wurzeln	◇ ₁
Hafer	2	Körner	⊠ ₂	Spreu	□ ₂	Stroh	△ ₂	Wurzeln	◇ ₂
Gerste	3a/b	Körner	⊠ ₃	Spreu	□ ₃	Stroh	△ ₃	Wurzeln	◇ ₃
Bohnen	4	Stauden	○ ₄	Bohnen	⊠ ₄			Wurzeln	◇ ₄
Ruebli	5	o.Schalen	◇ ₅			Schalen	● ₅	Kraut	○ ₅
Kartoffeln B	6	m.Schalen	● ₆	o.Schalen	△ ₆	Schalen	● ₆	Stauden	○ ₆
Kartoffeln C	7	m.Schalen	● ₇					Stauden (vor Verg.)	○ ₇
Sellerie	8	Kraut	○ ₈	Knollen	◇ ₈			Wurzeln	◇ ₈
Randen	9	Kraut	○ ₉	Randen	◇ ₉			Wurzeln	◇ ₉
Kohl	10	äussere Bl.	○ ₁₀	Kopf	⊗ ₁₀	Strunk	△ ₁₀	Wurzeln	◇ ₁₀
Zwiebeln	11	o.Schale	△ ₁₁			Schalen	● ₁₁		
Lauch	12	Stengel	△ ₁₂					Wurzeln	◇ ₁₂
Blumenkohl	13	Blätter	○ ₁₃	Blumen*	△ ₁₃			Wurzeln	◇ ₁₃
Spinat	14	Blätter	⊗ ₁₄						
Tomaten	15	Früchte	⊠ ₁₅						
Zuckerrüben	16	Kraut	○ ₁₆	Körper	◇ ₁₆	Saft	◇ ₁₆	Press- rück- stand	◇ ₁₆

* Blumenkohl-Blumen als Zwischenstadium Stengel-Frucht werden hier als essbare Stengel bezeichnet.

Der Uebersichtlichkeit wegen wurde auf die Eintragung der Fehlergrenzen für die einzelnen Punkte verzichtet; die Grösse der Fehler ist aus Tab. 1 ersichtlich.

Auffallend an diesen Darstellungen ist, dass die gesamte Streubreite bei den K-Gehalten wesentlich niedriger ist, als für Sr-90 und Cs-137, während sich auch die Ca-Gehalte in sehr weiten Grenzen bewegen. Der Grund dürfte in der Düngung der Böden zu suchen sein, in welchen diese Pflanzen gezogen wurden.

Die Fig. 10 bis 13 zeigen, dass die Zusammenhänge am besten durch Proportionalitäten wiedergegeben werden. Dementsprechend sind für die Gesamtzahl der Punkte, sowie je für Wurzeln, Stengel, Blätter und Früchte getrennt die besten Proportionalitätsgeraden errechnet und eingezeichnet worden.

Man sieht, dass die Sr/Ca-Verhältnisse (Fig. 10) für Wurzeln und Blätter gut konstant sind. Bei den Stengeln findet nur bei den Kartoffeln eine Abreicherung an Sr statt, ansonsten auch diese Verhältnisse recht gut konstant sind. Bei den Früchten sind die Verhältnisse (ausser den Bohnen) ebenfalls recht gut konstant. Die Cs/K-Verhältnisse (Fig. 11) zeigen im allgemeinen, wie das wegen der weniger engen chemischen Verwandtschaft zu erwarten war, eine schlechte Konstanz. Einzig die Wurzeln und Stengel lassen eine Proportionalität erkennen. Für die Sr/Ca- und Cs/K-Verhältnisse sind sowohl für verschiedene Pflanzenteile untereinander, als auch für verschiedene Pflanzen Verschiebungen längs der Proportionalitätsgeraden, wie auch Streuungen in grösserem Ausmass zu erwarten, die ihre Ursachen in unterschiedlichen Mineralgehalten überhaupt, in verschiedenartigen Diskriminationseffekten für die Aufnahme via Wurzel und nicht zuletzt auch in ungleicher Aufnahme aus dem direkt auf den Pflanzen deponierten Fallout haben können. Für die letzte Quelle von Aktivität spielen zudem noch die unterschiedlichen Expositionszeiten eine Rolle. Da Diskriminationseffekte und

unterschiedliche direkte Aufnahme aus dem Fallout parallel oder gegenläufig wirken können, ist es auf Grund des vorhandenen Beobachtungsmaterials nicht möglich, eine weitergehende Analyse durchzuführen. In groben Zügen zeigt sich jedoch eine deutliche Tendenz zu gleichwirkenden Veränderungen zwischen Sr und Ca, sowie zwischen Cs und K.

Die Sr/Cs-Verhältnisse (Fig. 12) zeigen eine Konstanz bei den Wurzeln und Früchten. Ebenso können sie bei den Blättern als recht gut konstant betrachtet werden. Die Stengel (Lauch, Zwiebeln, Kartoffeln) zeigen hingegen recht unterschiedliche An- oder Abreicherungs faktoren.

Die Sr/Total- γ -Verhältnisse (Fig. 13) zeigen eine gute Konstanz für Wurzeln, Stengel (ausser Kartoffeln) und Blätter. Ebenso sind die Verhältnisse für Früchte (bis auf Bohnen und Tomaten) recht gut konstant. Innerhalb der Fehlergrenzen sind also Rückschlüsse von einer gemessenen Total- γ -Aktivität auf den vermutlichen Gehalt an Sr-90 innerhalb eines Faktors 2 möglich. Die Unsicherheit eines solchen Rückschlusses ist aber in Einzelfällen beträchtlich grösser, jedoch eher im Sinne eines zu gross angenommenen Sr-Gehaltes. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die in Fig. 13 eingetragene Beziehung von Sr-90 zur Total- γ -Aktivität (vergleiche für deren Definition III 1.a) keinesfalls quantitativ auf andere Falloutsituationen übertragen werden darf, da im Jahre 1964 der Anteil von Sr-90 am Gesamtfallout bereits sehr viel höher war, als er es für junge Spaltprodukte sein würde. Es darf aber vermutet werden, dass auch in anderen Falloutsituationen eine Proportionalität zwischen dem Sr-Gehalt und der totalen γ -Aktivität bestehen wird.

Eine Verschiebung einzelner Sr/Cs- und Sr/Total- γ -Verhältnisse längs der Geraden ist zu erwarten, da die verschiedenen Teile ein und derselben Pflanze, sowie die verschiedenen Pflanzen

unterschiedliche Expositionszeiten haben. Fig. 14 zeigt die Expositionszeiten; es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Zeiten, in denen wesentliche Anteile der später geernteten Pflanze in grösserem Umfang Fallout aufgenommen haben, oft viel kürzer sind. Ein Vergleich der Fig. 12 und 13 mit Fig. 14 zeigt dementsprechend im allgemeinen höhere Aktivitäten bei längerer Expositionszeit. Da das Sr/Cs- bzw. Sr/Total- γ -Verhältnis im Fallout selbst nicht ganz konstant ist, muss ferner eine reelle Streuung erwartet werden.

Allgemein lässt sich feststellen, dass zwischen Sr und Cs, sowie Sr und der Total- γ -Aktivität eine gute Parallelität besteht, die nur in Ausnahmefällen, wie Tomaten und Kartoffeln, deutliche Diskriminationseffekte erkennen lässt.

Hier wäre noch zu bemerken, dass sowohl Sr wie auch Cs für die Pflanze Ballaststoffe sind, die zwar aufgenommen, aber nicht benötigt werden, während Ca ein Nährelement ist.

c) Die Verteilung der Aktivität in der Pflanze

Aus Tab. 3 kann man die Gefährlichkeit der Nahrungsmittel oder umgekehrt den Schutzeffekt der Pflanze in bezug auf ihre essbaren Teile herauslesen, wenn man deren relative Aktivität mit dem Gewichtsanteil des essbaren Pflanzenteils am Gesamtgewicht der Pflanze vergleicht. Es können sich dabei Anreicherungen, d.h. eine erhöhte Verseuchung, oder Abreicherungen, d.h. ein Schutzeffekt ergeben.

Es zeigt sich für Sr-90 als wichtigstem Radionuklid in der Nahrung, dass die An- bzw. Abreicherungsfaktoren über einen grossen Bereich variieren, nämlich von 1,3 bei Kohl-Strunk bis 0,012 bei Kartoffeln. Die Wurzelgemüse (Ruebli, Sellerie, Randen, Zucker-

rüben) zeigen Abreicherungs-faktoren in der Grösse von 0,3 bis 0,5. Sämtliche Früchte (Getreidekörner, Bohnen und Blumenkohl als Zwischenstadium Stengel-Frucht) zeigen Abreicherungs-faktoren in der Grösse von 0,2, sind also recht gut geschützt. Ebenso sind die essbaren Stengel (Kartoffeln und Zwiebeln) mit Abreicherungs-faktoren von 0,125 und 0,012 extrem gut geschützt. Als einziger Aussenseiter zeigt sich Lauch, bei dem jedoch sämtliche Blätter des Stengels als Probe zusammengefasst wurden und nicht zwischen dem eigentlichen Stengel und den Blättern unterschieden wurde. Das lässt wohl den Anreicherungs-faktor von 1,1 erklären.

Auch die Ab- bzw. Anreicherungs-faktoren für Cs-137 variieren über einen grossen Bereich, nämlich von 0,075 bei Zuckerrübensaft bis 4,6 bei Kohl-Strunk. Die Wurzelgemüse zeigen hier Abreicherungs-faktoren von 0,25 bis 0,4, sämtliche Früchte solche in der Grösse von 0,3. Die Abreicherungs-faktoren in den Früchten decken sich recht gut mit denjenigen, die von Läuchli (6) bei inerten Sr-Bestimmungen gefunden wurden. Die essbaren Stengel sind auch für Cs sehr gut geschützt mit Werten in der Grösse von 0,08 bis 0,18.

Unterschiede in den Abreicherungs-faktoren für Sr und Cs kommen auch in den Sr/Cs-Verhältnissen zum Ausdruck, s. Tab. 3 und Fig. 12.

Für die übrigen beobachteten Radionuklide verdecken die zum Teil erheblichen Fehler eine Tendenz der Faktoren, so dass auf die Diskussion von An- und Abreicherungs-faktoren verzichtet werden muss.

2. Physikalische Fallout-Sammler

Die Vergleichswerte der physikalischen Fallout-Sammler für die Nahrungsmittelmessreihe sind in Tab. 4 zusammengestellt. Hier ist vor allem zu bemerken, dass diese Vaselineplatten zum genauen Zeitpunkt der verschiedenen Ernten ausgewechselt wurden, während die Aussaat- bzw. Auspflanzungstermine weniger genau erfasst wurden. Diese in Wädenswil und Oerlikon exponierten Platten stellen das verbindende Glied zu den Vaselineplatten- und Fallout-Totalisator-Werten im EIR dar. Diese letzteren Werte konnten daher zur Erfassung der jeweiligen Aussaat- bzw. Auspflanzdaten der Gemüse bzw. Getreide im Sinne von ergänzenden Korrekturen verwendet werden.

Die Werte der am EIR exponierten Fallout-Sammler sind in Tab. 9 zusammengestellt. Hier sind vor allem die Werte in pC/m^2 von Bedeutung, da sie für den direkten Vergleich mit den Aktivitäten der Pflanze in den gleichen Einheiten verwendet werden sollen.

Zur Abklärung der Beziehungen zwischen den Werten von verschiedenen Sammlern während derselben Periode wurden die am EIR gewonnenen Verhältnisse von Messwerten, nämlich Vaselineplatten zu Regen, Vaselineplatten zu Totalisator und Totalisator zu Regen aufgezeichnet. Sie zeigen, dass diese Beziehungen für alle Radionuklide des Fallouts, ausser dem Sr-90, gut durch einfache Proportionalitäten dargestellt werden können. Weiter zeigt eine langjährige Messreihe des EIR, dass im Durchschnitt eine Beziehung der Messwerte von

$\text{Totalisator} = \text{Vaselineplatten} + 0,8 \cdot \text{Regensammler}$

gilt. Diese Beziehung gilt befriedigend auch für die Werte der Tab. 4 und 9.

3. Periodische Versuchsreihe mit Kresse und Gras

a) Die gemessenen Aktivitäten

Analog zu Tab. 1 wurden die Resultate der periodischen Messreihe von Kresse und Gras in den Tab. 6, 7 und 8 zusammengestellt. Bei Tab. 7 fehlen die Werte der unbedeckt wachsenden Kresse-Wurzeln für die erste Periode, da diese nicht abgetrennt worden waren.

Das Ziel dieser Versuchsreihe ist es, den Einfluss der aus dem Boden aufgenommenen Aktivität in den oberirdischen Pflanzenteilen zu bestimmen, ihn zu eliminieren und so die Voraussetzung für einen Vergleich zu den auf den physikalischen Fallout-Sammlern gefundenen Aktivitäten zu schaffen.

Die Werte dieser letzten, nämlich der Vaselineplatten, des Regensammlers und des Fallout-Totalisators sind für die gleichen Perioden in Tab. 4 und 9 zusammengestellt. In Tab. 9 sind auch Messwerte einer Vaselineplatte aufgenommen, die unter einem Plastik-Treibkasten aufgestellt war, siehe Fig. 5; diese Messwerte zeigen, dass die bedeckt gewachsenen Pflanzen keinen nachweisbaren Fallout aus der Luft erhalten haben.

Wie sich aus den Tab. 7 und 8 ergibt, sind innerhalb der Fehlergrenzen die Unterschiede zwischen den beiden Bodenarten vernachlässigbar, so dass in der folgenden Auswertung zwischen den beiden Böden nicht mehr unterschieden worden ist.

b) Der Bodeneinfluss bei den periodischen Messreihen

Als Voraussetzung für die Berechnung des Bodeneinflusses wurden die Verhältnisse der Aktivitäten in pC/m^2 auf unbedeckten zu denen auf bedeckten Blättern von Kresse und Gras, sowie deren Mittelwerte und Streuungen errechnet (Tab. 10).

Es zeigt sich, dass diese Verhältnisse bei Gras für alle gemessenen Radionuklide des Fallouts einen mittleren Wert von rund 4 annehmen. Die Verlässlichkeit dieses Wertes wird bestätigt durch die Tatsache, dass der Wert für K-40 innerhalb der einfachen Fehlergrenze gleich eins ist. Die entsprechenden mittleren Werte für Kresse-Blätter liegen bei rund 2 (K-40 gleich 1). Die unterschiedlichen Werte für Gras und Kresse lassen sich daraus erklären, dass, wie aus Fig. 5, 6, 7 und 8 ersichtlich ist, die Kresse sich jeweils erst in der letzten Expositionswoche voll entwickelt hat, das Gras jedoch sofort nach dem Schnitt nachzuwachsen beginnt, so dass es während der ganzen Periode dem Fallout ausgesetzt ist.

Es folgt aus der guten Konstanz dieser Verhältnisse, dass man den Bodeneinfluss auf die Aktivitätswerte der unbedeckt gewachsenen Proben auf einfache Weise eliminieren kann.

Zur Kontrolle wurden auch die Verhältnisse der Aktivitäten der Wurzeln der unbedeckt und bedeckt gewachsenen Kresse berechnet. Auf Basis der allgemeinen botanischen Ansicht, dass kein Mineraltransport von oben nach unten stattfindet, ist es erstaunlich, dass das mittlere Verhältnis unbedeckt/bedeckt, ausser für K, stets grösser als eins ist, trotzdem die Bodenaktivitäten (je 3 Proben zu Anfang und Ende, sowie in der Mitte der Messreihe) innerhalb von 20 % übereinstimmen und die Verhältnisse keinen zeitlichen Gang zeigen, der auf eine Zunahme von Fallout im unbedeckten Beet hinweisen würde. In einer Arbeit von Bukovac et al. (7) ist jedoch gezeigt, dass zumindest Cs von

den Blättern in die Wurzeln gelangen kann. Die obigen Verhältniss-Werte für die Wurzeln sind zwar statistisch nicht gesichert, fallen jedoch angesichts des korrekten Wertes für K und seiner geringen Fehler zweifellos stark auf.

4. Vergleich zwischen Pflanze und physikalischem Fallout-Sammler

a) Periodische Versuchsreihe

Dieser Vergleich soll durch die Bildung eines Verhältnisses zwischen der Aktivität auf den oberirdischen Pflanzenteilen, bzw. beim Gras auf dem geernteten Anteil davon, nach Abzug des Bodeneinflusses und der in der gleichen Periode gefundenen Aktivität auf den physikalischen Fallout-Sammlern geschehen. Auf Grund der Ergebnisse des vorhergehenden Abschnittes kann die Korrektur des Bodeneinflusses durch Umrechnung der auf den bedeckten Pflanzen gefundenen Aktivität mit Hilfe der Trockengewichte geschehen.

Es ergibt sich somit folgende Formel, die in den äquivalenten Formen (A) und (B) geschrieben werden kann:

$$d_o = \frac{A_{\text{unbedeckt}}(\text{pC/m}^2) - (A_{\text{bedeckt}}(\text{pC/m}^2) \cdot Q_{\text{Ertrag}})}{\text{Vaselineplatten- oder Totalisator-Wert (pC/m}^2)} \quad (\text{A})$$

$$= \frac{A_{\text{unbedeckt}}(\text{pC/m}^2) (1 - A_{\text{bedeckt}} / A_{\text{unbedeckt}}(\text{pC/m}^2) \cdot Q_{\text{Ertrag}})}{\text{V- oder T-Wert}}$$

$$= \frac{A_{\text{unbedeckt}}(\text{pC/m}^2)}{\text{V- oder T-Wert}} \left(1 - \underbrace{\frac{A_{\text{bedeckt}}}{A_{\text{unbedeckt}}}}_{\text{pC/g Trockengewicht}} \right) \quad (\text{B})$$

wobei: Q_{Ertrag} = Quotient der Erträge der unbedeckten zu den bedeckten Beeten (g Trockengewicht/m²).

Die so berechneten Werte der Vergleichsfaktoren für Kresse und Gras, ihre Mittelwerte für die einzelnen Radionuklide, sowie die Gesamtmittel für die Vaselineplatten- bzw. Totalisator-Werte sind in Fig. 15 aufgetragen. Die unterschiedliche Anzahl von Daten für Kresse folgt daraus, dass Werte der Aktivität mit Fehlern in der Grössenordnung von 100 % weggelassen wurden. Die Werte für Kresse und Gras sind erheblich (Faktor 6 bis 9) voneinander verschieden. Die Erklärung für diese Abweichungen liegt in drei Einflüssen. Zunächst ist, wie bereits in III 3.b) betont, die Expositionszeit in dem Sinne verschieden, dass die Kresse jeweils praktisch erst in der dritten Woche umfangreichere oberirdische Pflanzenteile entwickelt hatte, die Fallout von oben her aufnehmen konnten; hieraus könnte ein Unterschied von der Grösse eines Faktors 3 resultieren. Ferner geht die Dichte des Bewuchses der Beete ein, die nach Tab. 6, 7 und 8 Unterschiede im Ertrag (g Trockengewicht/m²) von der Grösse eines Faktors 2 zu Gunsten des Grasses zeigt. Zuletzt wird auch noch ein Unterschied in der Blattstruktur zur Wirkung kommen, dessen Richtung allerdings offen bleibt.

Innerhalb einer Gruppe von gleichartigen Werten bestehen Streuungen, die bei Kresse deutlich grösser sind als bei Gras, vermutlich insbesondere wegen der von Periode zu Periode unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeit. Trotzdem dieser Faktor auch für Gras von Bedeutung ist, zeigen die Streubreiten für Gras an, welche minimalen Unsicherheiten im Vergleich von Pflanzenproben zu Ergebnissen physikalischer Fallout-Sammler erwartet werden müssen.

Der Unterschied der Vergleichsfaktoren d_0 für Vaselineplatten- bzw. Totalisator-Werte ist in der nach III 2. erwarteten Grösse.

b) Nahrungsmittelmessreihe

Das Ziel dieses Vergleiches ist es, das Ausmass festzustellen, in dem von Messungen an physikalischen Fallout-Sammlern auf die zu erwartende Verseuchung von Pflanzen geschlossen werden kann, die für die menschliche Ernährung wichtig sind.

Da der Bodeneinfluss auf die Aktivitäten oberirdischer Pflanzenteile für diesen Vergleich eliminiert werden muss, ein Vorgehen nach Art des Modells bei den periodischen Messreihen jedoch nicht in Frage kommt, müssen hier andere Modelle betrachtet werden, um diese Korrektur der Messwerte durchführen zu können.

Zunächst wurde ohne Rücksicht auf irgendwelche Diskriminationseffekte innerhalb der Pflanze die Annahme gemacht, dass die oberirdischen Teile, insbesondere die Blätter und Früchte, von bedeckt wachsenden Gemüsen und anderen Pflanzen der Nahrungsmittelreihe die gleiche Aktivität (pro g Trockengewicht) haben würden, wie die Wurzeln und eventuell vorhandene Stengel. Bei der bedeckt gewachsenen Kresse ist dies innerhalb der Fehlergrenzen der Fall (Vergleich von Wurzeln und "Blättern" = oberirdische Teile der Kresse unter Einschluss der Stengel, nach Tab. 7 und 8. Die Abtrennung der Kressestengel war nicht tunlich, da sie zu geringe Probenmengen ergeben hätte). Bei jenen Pflanzen, bei denen Wurzeln und oberirdische Stengel getrennt gemessen worden waren, konnte die oben angenommene Gleichheit bestätigt werden (s. Tab. 1).

Man kann dementsprechend, wie für Gras und Kresse, Vergleichsfaktoren $d_{o\Box}$ für Blätter bzw. Früchte bestimmen nach den Formeln:

$$d_o = \frac{A_o - \frac{1}{2}(A_{\Diamond} + A_{\Delta}) \cdot Q \frac{o}{\Diamond + \Delta}}{\text{Vaselineplatten- oder Totalisator-Wert summiert über die ganze Wachstumsperiode}}$$

bzw.

$$d_{\square} = \frac{A_{\square} - \frac{1}{2}(A_{\diamond} + A_{\Delta}) \cdot Q \frac{\square}{\diamond + \Delta}}{\Sigma \text{ V- oder T-Werte Wachstum}},$$

oder, falls nicht alle morphologischen Teile getrennt gemessen worden waren:

$$d_o = \frac{A_o - A_{\Delta} \text{ od. } \diamond \cdot Q \frac{o}{\diamond \text{ od. } \Delta}}{\Sigma \text{ V- oder T-Werte Wachstum}},$$

wobei immer die Aktivitäten in pC/m^2 einzusetzen sind.

Ferner ist Q = Ertragskoeffizient = Verhältnis der Trockengewichte/ m^2 .

Wie früher gilt

$\diamond$ = Wurzeln
 $\circ$ = Blätter
 Δ = Stengel
 $\square$ = Früchte

Um den Bodeneinfluss zu eliminieren, sind also, wie aus der oben getroffenen Annahme folgt, Wurzel- und/oder Stengelaktivitäten verwendet worden, wobei in die ersten beiden Formeln ein arithmetischer Mittelwert eingesetzt worden ist, um eine bessere Korrektur zu erreichen. Die 2. Terme im Zähler dieser Formel (Bodeneinfluss) betragen in den meisten Fällen $1/3$ bis $1/2$ des ersten, können aber auch erheblich grösser (besonders bei Blumenkohl, Lauch) oder kleiner (Zuckerrüben, Kartoffeln) sein, Tab. 11.

Die oben gemachte Annahme lässt ausser Acht, dass der Mineralgehalt von morphologisch verschiedenen Pflanzenteilen verschieden

sein kann, was ja durch die K- und Ca-Gehalte der Tab. 1, 6, 7 und 8 bestätigt wird. Die Werte dieser Mineralgehalte gehen jedoch nicht immer parallel. Trotzdem könnte man, insbesondere für Cs und Sr, Quotienten für die K- bzw. Ca-Gehalte in die obige Formel statt der Gewichtsquotienten einsetzen. Das würde jedoch in fast allen Fällen zu negativen d-Werten führen, woraus folgt, dass die Annahme einer Parallelität der Aufnahme von Cs bzw. Sr mit K bzw. Ca in dieser einfachen Form nicht richtig ist. Es ist hier daran zu erinnern, dass K und Ca für die Pflanze Nährstoffe, Sr und Cs jedoch Ballaststoffe sind. Diskriminationsfaktoren könnten zur Korrektur herangezogen werden, doch müssten sie aus Messungen an bedeckt wachsenden Pflanzen oder aus Treibhausversuchen abgeleitet werden, was ausserhalb der Ziele dieser Arbeit gelegen hätte, für welche die Pflanzen so, wie es üblich ist, wachsen und geerntet werden sollten. Zudem hätten derartige Versuche Änderungen in den Umweltbedingungen der untersuchten Pflanzen mit sich gebracht, die eine Rückübertragung der gefundenen Diskriminationsfaktoren von neuem unsicher machen würden.

Es schien daher am richtigsten, die Elimination des Bodeneinflusses nach den oben angegebenen Formeln vorzunehmen. Die damit errechneten d-Faktoren für Blätter und Früchte der Gemüse und Getreide, ihre Mittelwerte für die einzelnen Radionuklide für Blätter und Früchte zusammen, sowie für die Blätter allein und die Gesamtmittel mit ihrer Streuung, sind für Vaselineplatten- (ohne Sr-90) bzw. Totalisator-Werte in Fig. 16 und in Tab. 11 aufgetragen.

Es zeigt sich, dass die Einzelwerte über einen grossen Bereich variieren. Die höchsten Einzelwerte werden für alle Radionuklide von den Kartoffelstauden geliefert. Diese Stauden könnten im Falle einer Verseuchung Daten von physikalischen Fallout-Sammlern ergänzen oder ersetzen, wobei vermutlich eine Genauigkeit eines Faktors zwei erreicht werden kann.

Die Vergleichsfaktoren für Früchte liegen wesentlich tiefer als für Blätter. Diese zu erwartende Tendenz bestätigt daher die obige Annahme, dass das Modell für die Berechnung der d-Werte im wesentlichen richtig sein muss. Sie werden auch von den inerten Sr-Bestimmungen von Läuchli (6) und Frei (7) an Mais und Erbsen bestätigt

Die d-Werte für Sr-90 im Vergleich zu den Vaselineplatten fallen eindeutig aus dem Rahmen, um so mehr als die Werte im Vergleich zum Totalisator sich von den Werten für andere Isotope nicht unterscheiden. Es ist zu vermuten, dass hier eine systematische Fehlerquelle bei den Messungen von Sr-90 auf den Vaselineplatten verantwortlich ist, deren Aufdeckung nicht im Rahmen dieser Arbeit, welche sich mit den Beziehungen zwischen physikalischen Fallout-Sammlern und Pflanzen befasst, gelegen ist. Diese Frage wird jedoch weiter verfolgt werden.

Die Mittelwerte der Vergleichsfaktoren liegen (ausser für Sr-90 für Vaselineplatten) recht nahe beieinander und zwar sowohl für die einzelnen Nuklide untereinander als auch für Vaselineplatten und Totalisator. Die Abweichungen beim letzteren Vergleich gehen, wie bei Kresse und Gras, in der erwarteten Richtung und haben die nach III 2. zu erwartende Grösse. Die Gesamtmittel zeigen, dass - unter den Fallout-Verhältnissen der Wachstumsperiode 1964 - die Pflanzen im grossen Durchschnitt und in bezug auf die Ackerfläche rund 1/10 des Fallout direkt aufnehmen, der auf einem physikalischen Fallout-Sammler beobachtet wird. Im allgemeinen gesehen, sind diese Vergleichsfaktoren eher zu klein (analog III 3.a), vor allem weil die Expositionszeiten der Fallout-Sammler nicht mit den Expositionszeiten der einzelnen Pflanzenteile übereinstimmen (Wachstumseffekt). Unterschiede zwischen verschiedenen Pflanzen in der zeitlichen Entwicklung der für die Aufnahme von Fallout wesentlichen Pflanzenteile geben Ursache zu Variationen der d-Werte.

Eine erhebliche Variation dieser Werte kommt auch daher, dass die Bewuchsdichte ($\text{g Trockengewicht/m}^2$) der Pflanzen verschieden hoch ist, Fig. 17. Eine Tendenz im Sinne höherer d-Werte bei höherer Bewuchsdichte ist unverkennbar, hat aber eine so grosse Streuung, dass sie nicht weiter analysiert werden kann. Ebenso spielen die verschiedenen Blattstrukturen eine Rolle.

Zum Schluss seien noch einige Arbeiten erwähnt, die auf dem Wege künstlicher Applikation von Radioisotopen zu ähnlichen Vergleichsfaktoren kamen:

Nishita et al. (9) fanden in ihrer Arbeit ebenfalls eine direkte Aufnahme von Fallout von 10 %. Reitemeier et al. (10) fanden bei ihren Treibhausversuchen im Vergleich zu den Freilandversuchen ähnliche Verhältnisse der bedeckten zu unbedeckten Pflanzen, wie in der vorliegenden Versuchsreihe. Menzel et al. (11) fanden in den Früchten eine Bodenaufnahme von weniger als 10 % und eine direkte Aufnahme von 3 % (für Sr-90). Ueber die Verteilung der Radioisotope in den Pflanzen seien noch folgende Arbeiten genannt:

Romney et al. (12) und Russell et al. (13).

IV ZUSAMMENFASSENDE SCHLUSSBEMERKUNGEN

An einer grossen Anzahl von Pflanzen, die unter gleichen klimatischen Bedingungen und nahezu am gleichen Standort gewachsen waren, sowie unter Bedingungen, die den in der Landwirtschaft üblichen entsprechen, konnte gezeigt werden, dass eine gute Parallelität im Gehalt an einzelnen Isotopen und Elementen (Cs/K , Sr/Ca , Sr/Cs und $Sr/Total-\gamma$) besteht. Diskriminationseffekte zwischen verschiedenen Pflanzenteilen und zwischen verschiedenen Pflanzen machen nur in Sonderfällen Grössenordnungen aus (Kartoffeln und Tomaten).

Des weiteren wurden die An - bzw. Abreicherungs-faktoren der essbaren Pflanzenteile ermittelt. Hier stechen vor allem die Kartoffeln mit ihren extrem niedrigen Abreicherungs-faktoren hervor. Allgemein kann gesagt werden, dass bei den essbaren Teilen eher Abreicherungs- als Anreicherungs-faktoren gefunden werden.

In der Falloutsituation des Jahres 1964 war der Bodeneinfluss auf die Gesamtaktivität der Pflanze keineswegs zu vernachlässigen. Durch die periodische Versuchsreihe mit bedeckten und unbedeckten Pflanzen sowie durch Unterschiede der verschiedenen Pflanzenteile konnten befriedigende Korrekturformeln gefunden werden, um diesen Bodeneinfluss zu eliminieren.

Die damit errechneten Vergleichsfaktoren zwischen der Aktivität der Pflanzen und derjenigen auf physikalischen Fallout-Sammlern zeigen, welche Einflüsse man bei verseuchten Pflanzen berücksichtigen muss. Ferner zeigt sich, dass Kartoffelstauden Daten von physikalischen Fallout-Sammlern ergänzen oder ersetzen könnten.

ANHANG 1Chemische Analysena) Bestimmung des Sr-90-GehaltesReagenzien:

Y-Träger 20 mg Y/ml $Y(NO_3)_3 \cdot 6 H_2O$
 Salzsäure konz. (HCl)
 Salzsäure 0,5 m (HCl)
 Salzsäure 9,0 m (HCl)
 Salzsäure verdünnt ca. 1 m (HCl)
 Ammoniak konz. (NH_4OH)
 Ammoniak 1 + 1
 Oxalsäure fest ($COOH$)₂
 EHPA (Bis- (2- aethyl)- hexyl) -
 Phosphorsäure) 1,5 m
 $CH_3(CH_2)_3-CH(C_2H_5)CH_2O_2-POOH$ ge-
 reinigt durch Gegenstromextraktion
 mit Aether und Aethylenglycol in
 einer 16-stufigen Micromixer-Sett-
 lerapparatur nach der modifizierten
 Vorschrift von (14).

Apparate:

Uebliche Laborglaswaren
 pH-Meter
 Filtrierapparat
 Analysenwaage
 β -Messapparat

Analysenvorschrift:Reagenzien:

- 1) 2 - 10 g Asche
 (genau gewogen)
 20 mg Y-Träger
 85 ml H_2O
 17 ml HCl konz.

Vorgang:

In Becherglas geben und während 2 Stun-
 den auf dem Sandbad bis nahe an den
 Siedepunkt erhitzen.

- | | |
|--|--|
| 2) Rundfilter 589/2
Ø 110 mm | Rückstand filtrieren und verwerfen. |
| 3) NH_4OH konz. | pH der Lösung mit Ammoniak auf 1 einstellen (pH-Meter) und in Scheidetrichter geben. |
| 4) 15 ml EHPA 1,5 m
n-Heptan | EHPA mit n-Heptan auf genau 50 ml verdünnen.
Die so erhaltene 0,45 m EHPA-Lösung ebenfalls in den Scheidetrichter geben und während 1 Minute Y extrahieren (Zeit der Extraktion von Y notieren). Klar trennen und saure, wässrige Lösung verwerfen. |
| 5) 3 x 25 ml HCl 0,5 m | Organische Phase 3 Mal mit Salzsäure waschen. Waschlösung jeweils verwerfen. |
| 6) 1 x 15 ml HCl 9 m
1 x 10 ml HCl 9 m | Yttrium rückextrahieren mit 1 x 15 ml HCl und 1 x 10 ml HCl. |
| 7) 1 Spatelspitze
$(\text{COOH})_2\text{NH}_4\text{OH}$ konz. | Zur Salzsäurelösung Oxalsäure geben und pH mit Ammoniak auf 3 einstellen (pH-Meter). |
| 8) HCl verdünnt
1 Spatelspitze
$(\text{COOH})_2\text{NH}_4\text{OH}$ 1+1 | Oxalate abzentrifugieren und überstehende Lösung verwerfen. Niederschlag mit Salzsäure lösen und Oxalate nochmals fällen wie unter Pos. 7). |
| 9) Rundfilter 575
Ø 27,5 mm
H_2O
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 95 % | Yttrium-Oxalat durch gewogenes Filter absaugen und mit Wasser und Alkohol Niederschlag auswaschen.
Yttrium-Präparat trocknen, wägen (Aus- |

beute bestimmen) und zur β -Messung in Stahlschälchen montieren (Zeit der β -Messung notieren).

Nach 3-4 Tagen ist eine zweite β -Messung durchzuführen und aus der Differenz der beiden Messungen der Y-90, resp. Sr-90- Gehalt zu errechnen.

Die einfache Bestimmungsmethode nach Petrow (15) lässt sich bei alten Spaltprodukten anwenden, da als Voraussetzung dafür gilt, dass kein weiterer Aufbau von Yttrium erfolgt, d.h. dass Sr-90 und Y-90 im Gleichgewicht sind.

Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit dieser Bestimmungsmethode wurde mit der früher üblichen, komplizierteren Methode geprüft und als gut befunden, (16, 17).

Mit gutem Erfolg wurden vom EIR auch einige Proben für den Inter-comparisonrun LOWRA der IAEA (1965) nach dieser Methode analysiert.

b) Bestimmung des Ca-Gehaltes: Komplexometrische Titration (18)

Reagenzien:

0,05 m Komplexon-III-Lösung, hergestellt durch Lösen von 18,605 g getrocknetem Komplexon-III (getrocknet 2 Stunden bei 50° C) zu 1000 ml.

1 % KCN-Lösung, lösen von 1 g KCN in 100 ml Wasser.

0,05 m CaCl_2 -Lösung, 5,0045 g getrocknetes CaCO_3 in wenig dest. Wasser geben und durch Zusatz von HCl in Chlorid überführen. pH der Lösung

möglichst neutral. Mit Wasser auffüllen auf 1000 ml und Titer der Lösung mit 0,05 m Komplexon-III-Lösung bestimmen.

HHSNN-Indikator, 100 mg innig verreiben mit 10 g NaCl. Statt HHSNN kann Murexid als Indikator verwendet werden. Der Umschlag geht von purpur nach rot.

Analyse:

Reagenzien:

Vorgang:

- | | |
|--|---|
| 1) 10 - 30 mg Asche | Die sehr fein gepulverte Asche in 250 ml Erlenmeyerkolben einwiegen. |
| 2) 0,5 ml HCl konz.
100 ml H ₂ O dest. | Säure und Wasser zugeben und ungefähr 2 Stunden auf Sandbad auf etwa 80° C erhitzen. |
| 3) ca. 1 ml KCN-Lösung | Lösung erkalten lassen und zur Maskierung der Schwermetalle KCN-Lösung zugeben. |
| 4) 0,05 m Komplexon-III-Lösung | Genau bekannte Menge Komplexon-Lösung mit Bürette zugeben. Das Quantum richtet sich nach dem Calcium-Gehalt der Probe; meist genügen 10 ml. |
| 5) 10 ml n-NaOH | Lösung soll pH von 12 erreichen. |
| 6) 1 Spatelspitze HHSNN- | Indikator zugeben und mit CaCl ₂ -Lösung titrieren bis zum deutlichen Farbumschlag von blau nach rotviolett. |

Berechnung:

a = ml 0,05 m Komplexon-III-Lösung

b = ml 0,05 m Calciumchlorid-Lösung

$$\underline{(a - b) \times 2,004 = \text{mg Calcium}}$$

Tabelle 1

	Frisch- gewicht	Trocken- gewicht			<u>Ce-144</u>		
	g/m ²	g/m ²	% vom Fr.G.	pC/gFr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
Weizen:							
Körner	559	559	100	0.73	0.73	409	21 %
Spreu	97	97	100	22	22	2175	3 %
Stroh	550	550	100	11	11	6275	8 %
Wurzeln	745	745	100	20	20	15190	7 %
Hafer:							
Körner	285	285	100	0.8	0.8	227	29 %
Spreu	27	27	100	30	30	826	3 %
Stroh	450	450	100	14	14	6421	6 %
Wurzeln	835	835	100	12	12	9929	14 %
Gerste Sorte a:							
Körner	716	716	100	< 2.5	< 2.5	< 1916	0.58/0.58/420
Spreu	82	82	100	25	25	2090	3 %
Stroh	600	600	100	13	13	7950	17 %
Gerste Sorte b:							
Körner	584	584	100	1	1	663	20 %
Spreu	67	67	100	20	20	1366	3 %
Stroh	600	600	100	12	12	7338	9 %
Wurzeln	665	665	100	13	13	9040	9 %
Bohnen:							
Stauden	910	180	16	22	4	3982	3 %
Bohnen	2000	290	14	1.4	0.2	423	19 %
Wurzeln	40	15	37	15	5.6	224	12 %
Rüebli:							
ohne Schalen	4660	555	12	< 0.7	< 0.08	< 381	0.32/0.038/178
Schalen	915	125	13	4.5	0.6	566	21 %
Kraut	1190	185	15	37	6	6937	18 %
Kartoffeln Cosima:							
mit Schalen	1950	450	23	0.6	0.15	285	27 %
Stauden(vor Verg.)	560	400	71	30	22	12235	3 %

Sb-125Ru-106

pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
<0.5	<0.5	<269	0.2/0.2/118	<0.06	<0.06	<34	0.036/0.036/
6	6	606	12 %	1	1	112	12 %
2.5	2.5	1391	50 %	<0.73	<0.73	<404	0.23/0.23/12
3	3	2347	44 %	2	2	1460	12 %
<0.37	<0.37	<107	0.3/0.3/89	<0.15	<0.15	<44	0.055/0.055/
8.9	8.9	240	11 %	1.5	1.5	40	11 %
2.5	2.5	1125	44 %	0.7	0.7	303	29 %
5	5	4255	47 %	2.6	2.6	2221	16 %
1.4	1.4	995	50 %	0	0	0	0.14/0.14/98
7	7	584	14 %	1.2	1.2	100	14 %
8	8	5004	39 %	<1.8	<1.8	<1105	0.57/0.57/346
<0.54	<0.54	<313	0.3/0.3/185	<0.1	<0.1	<61	0.055/0.055/3
5	5	346	18 %	9.4	9.4	633	16 %
<3.5	<3.5	<2142	1.5/1.5/953	1	1	630	26 %
4.2	4.2	2833	43 %	2.3	2.3	1536	14 %
4.5	0.9	817	17 %	0.5	0.1	91	26 %
<0.97	<0.14	<281	0.4/0.06/120	<0.23	<0.033	<65	0.07/0.01/21
<7.9	<2.9	<118	2.4/0.9/36	1.3	0.47	19	34 %
<1	<0.13	<609	0.45/0.054/252	<0.2	<0.023	<111	0.08/0.0095/44
2	0.3	267	50 %	<0.3	<0.04	<36	0.23/0.03/29
5	0.77	916	19 %	1.4	0.22	268	11 %
<0.8	<0.2	<361	0.23/0.054/105	<0.06	<0.014	<27	0.04/0.0095/18
5	3.6	2036	20 %	1.5	1	596	11 %

<u>Cs-137</u>				<u>Mn-54</u>			
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
0.6	0.6	329	5 %	0.055	0.055	31	26 %
2.7	2.7	265	4 %	0.270	0.27	26	20 %
2	2	1102	10 %	< 0.3	< 0.3	< 161	0.08/0.08/48
2.2	2.2	1675	10 %	0.34	0.34	254	28 %
0.5	0.5	149	8 %	0.046	0.046	13	45 %
3	3	81	48 %	0.3	0.3	9	19 %
1.8	1.8	820	9 %	< 0.23	< 0.23	< 105	0.073/0.073/32
1.7	1.7	1420	20 %	0.35	0.35	298	45 %
0.5	0.5	365	23 %	< 0.13	< 0.13	< 94	0.055/0.055/39
3.2	3.2	261	4 %	0.3	0.3	25	23 %
1	1	654	43 %	< 0.48	< 0.48	< 288	0.22/0.22/131
0.36	0.36	213	13 %	< 0.045	< 0.045	< 26	0.02/0.02/12
3	3	201	4 %	0.3	0.3	19	21 %
0.99	0.99	594	23 %	< 0.34	< 0.34	< 204	0.1/0.1/626
2.1	2.1	1414	13 %	0.37	0.37	248	33 %
2	0.3	342	6 %	0.13	0.025	23	40 %
0.3	0.045	92	19 %	< 0.05	< 0.0073	< 14.6	0.028/0.004/8
0.91	0.34	14	40 %	< 0.47	< 0.17	< 7	0.16/0.06/2.4
0.4	0.047	218	17 %	0	0	0	0.03/0.0036/17
1	0.15	138	17 %	< 0.3	< 0.04	< 37	0.09/0.012/11
2.3	0.35	426	6 %	0.3	0.05	62	19 %
0.16	0.04	75	21 %	< 0.04	< 0.009	< 18	0.016/0.004/7.3
5	3.7	2096	29 %	0.36	0.26	147	19 %

<u>K-40</u>					<u>Total γ</u>		
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	gK/gFr	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²
3.5	3.5	1982	0.0045	9 %	0.41	0.41	228.8
10	10	986	0.013	11 %	3.1	3.1	302.4
11	11	6215	0.014	17 %	2.1	2.1	1055
25	25	18714	0.032	8 %	3.58	3.58	2665.6
4.2	4.2	1211	0.0054	11 %	0.46	0.46	131.2
11	11	315	0.014	12 %	3.94	3.94	106.5
20	20	9157	0.026	8 %	2.76	2.76	1242
40	40	33357	0.052	9 %	4.26	4.26	3557
6	6	4553	0.0077	19 %	0.25	0.25	180.8
12	12	1004	0.015	12 %	3.65	3.65	299.6
18	18	10740	0.023	26 %	2.3	2.3	1079.4
5	5	2986	0.0065	9 %	0.4	0.4	235.8
14	14	959	0.018	9 %	3.3	3.3	221.6
20	20	12270	0.026	11 %	2.36	2.36	1416.8
32	32	21720	0.041	8 %	4.1	4.1	2724.6
25	5	4428	0.0065	4 %	3.16	0.62	569.8
16	2	4820	0.0026	3 %	1.06	0.15	312
35	13	527	0.017	10 %	3.04	1.1	45.4
19	2.3	10562	0.0029	3 %	1.1	0.13	1326.4
42	6	5234	0.0077	5 %	2.84	0.39	187
47	7.4	8815	0.0096	3 %	5.4	0.84	1011.4
11	2.7	5197	0.0035	3 %	1.02	0.23	661.6
34	25	13816	0.032	4 %	5.61	4	2244.2

<u>Sr-90</u>			<u>Ca</u>	
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	mg/gFr
0.11	0.11	61.5	6 %	0.29
1.37	1.37	133.4	3 %	1.96
0.93	0.93	512	2 %	3.03
1.08	1.08	813.7	10 %	13.04
0.11	0.11	32.5	4 %	2.05
1.44	1.44	39	3 %	5.45
0.96	0.96	431.5	2 %	7.04
1.09	1.09	906.6	13 %	23.56
0.063	0.063	36.8	5 %	0.54
1.42	1.42	95.5	3 %	4.9
0.67	0.67	401.4	2 %	4.21
0.83	0.83	554	14 %	24.95
1.19	0.23	214.7	6 %	4.73
0.11	0.015	31.8	23 %	1.06
0.16	0.019	89.5	4 %	0.49
0.46	0.063	57.6	7 %	0.89
1.6	0.25	297.5	11 %	5.45

Tab. 1 2.1

	Frisch- gewicht	Trocken- gewicht	Ce-144				
	g/m ²	g/m ²	% vom Fr.G.	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
Kartoffeln Benedetta:							
mit Schale	3000	750	25	0.64	0.16	483	26 %
ohne Schale	3000	750	25	0.93	0.23	695	19 %
Schalen	510	102	20	<10	<2	1070	5/0.99/505
Stauden	560	400	71	18	13	7476	3 %
Sellerie:							
Kraut	2250	365	16	19	3	6870	3 %
Knollen	2625	290	11	3	0.3	933	10 %
Wurzeln	1500	205	13	8	1	1596	10 %
Randen:							
Randen	5875	750	13	0.87	0.11	652	30 %
Kraut	2700	340	12	22	3	7626	3 %
Wurzeln	100	13	13	6.4	0.82	82	24 %
Kohl:							
Aeussere Blätter	2630	250	9	8	0.75	1988	5 %
Kopf	1860	155	8	<0.8	<0.07	<134	0.236/0.02/3
Strunk	165	35	20	10	2	367	10 %
Wurzeln	310	50	16	6.5	1	326	12 %
Zwiebeln:							
Zw. ohne Schale	2215	260	11	<0.5	<0.06	<131	0.27/0.03/70
Schalen	285	150	52	9	5	1472	6 %
Lauch:							
Stengel	2500	240	9	3.5	0.3	832	11 %
Wurzeln	450	50	11	8	0.9	408	16 %
Blumenkohl:							
Blumen	1890	150	8	1.7	0.14	265	14 %
Blätter	3690	600	16	4	0.6	2284	8 %
Wurzeln	855	250	29	2.4	0.7	612	16 %
Spinat:							
Blätter	2000	130	6.5	5.6	0.36	734	7 %
Tomaten:							
Früchte	5000	275	5.5	<0.8	<0.04	<222	0.25/0.014/6

Sb-125				Ru-106			
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
0.77	< 0.2	< 582	0.24/0.06/179	< 0.08	< 0.02	< 59	0.04/0.01/31
0.75	< 0.19	< 559	0.25/0.06/186	< 0.086	< 0.021	< 65	0.042/0.01/32
38	7 5	3847	18 %	15	3	1503	8 %
2.8	2	1120	25 %	0.87	0.62	347	14 %
2.4	0.4	897	30 %	1.7	0.27	621	7 %
< 0.3	< 0.034	< 89	0.5/0.05/140	0.37	0.04	109	22 %
3.3	0.45	673	35 %	2	0.27	412	10 %
< 0.5	< 0.065	< 382	0.34/0.043/257	0.34	0.043	253	18 %
4.4	0.56	1512	19 %	1.6	0.2	572	8 %
< 4.3	< 1	< 109	2.2/45/55	1.4	0.18	18	27 %
< 2	< 0.2	< 521	0.57/0.054/142	0.46	0.044	116	21 %
0.86	< 0.07	< 133	0.3/0.026/50	< 0.17	< 0.014	< 27	0.057/0.0047/9
2.8	0.59	97	49 %	< 0.1	< 0.02	< 3.6	0.24/0.052/8.5
< 4	< 0.67	< 208	1/0.2/57	0.57	0.09	28	34 %
0.57	< 0.067	< 149	0.38/0.045/100	< 0.17	< 0.02	< 44	0.066/0.0077/17
2	1.1	313	40 %	0.8	0.4	118	18 %
< 1.6	< 0.16	< 400	0.54/0.052/130	< 0.3	< 0.028	< 71	0.094/0.009/23
3.7	0.4	187	48 %	2.4	0.27	121	13 %
< 0.9	< 0.070	< 134	0.34/0.027/51	< 0.2	< 0.016	< 31	0.06/0.0047/9
0.8	0.13	484	50 %	0.2	0.035	130	32 %
0.55	< 0.16	< 139	0.55/0.16/139	0.4	0.1	100	24 %
2.8	0.18	361	25 %	0.67	0.043	87	18 %
< 1	< 0.055	< 275	0.35/0.02/96	< 0.2	< 0.011	< 55	0.06/0.0033/16

Tab.1 2.3

<u>Cs-137</u>				<u>Mn-54</u>			
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
0.17	0.04	127	20 %	< 0.043	< 0.01	< 32	0.016/0.004/12
0.15	0.037	113	26 %	< 0.04	< 0.01	< 32	0.016/0.004/12
3.5	0.7	358	28 %	3.8	0.76	390	12 %
3.4	2.4	1367	3 %	0.26	0.19	105	17 %
2	0.33	742	5 %	0.28	0.045	102	18 %
0.86	0.095	250	8 %	< 0.12	< 0.013	< 34	0.033/0.0037/9
1.6	0.2	339	10 %	0.24	0.033	50	31 %
0.32	0.04	241	16 %	0.05	0.0064	38	46 %
3.5	0.44	1177	4 %	0.34	0.043	116	17 %
1.6	0.21	21	20 %	< 0.33	< 0.04	< 4	0.15/0.02/2
0.78	0.074	196	11 %	0.087	0.0083	22	44 %
0.43	0.035	66	11 %	< 0.050	< 0.004	< 7.8	0.022/0.002/34
1.4	0.3	48	15 %	< 0.1	< 0.022	< 3.6	0.097/0.02/3.4
0.72	0.1	36	23 %	< 0.19	< 0.03	< 9	0.078/0.012/4
0.13	0.015	34	43 %	< 0.074	< 0.0087	< 19	0.025/0.003/6
1.2	0.66	188	10 %	0.12	0.062	18	48 %
0.44	0.043	107	18 %	< 0.09	< 0.0086	< 21	0.036/0.0035/9
1.3	0.14	64	21 %	0.3	0.035	16	40 %
0.4	0.032	60	12 %	< 0.06	< 0.0047	< 9	0.02/0.0018/3
0.6	0.097	357	10 %	< 0.1	< 0.016	< 61	0.027/0.0045/16
1.4	0.43	364	5 %	< 0.14	< 0.04	< 34	0.036/0.01/9
1.2	0.08	158	8 %	0.13	0.009	18	34 %
0.35	0.019	98	14 %	< 0.068	< 0.0037	< 19	0.024/0.0013/7

<u>K-40</u>					<u>Total γ</u>		
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	gK/gFr	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²
12	3	9067	0.0039	3 %	0.72	0.18	544
13	3.2	9630	0.0041	28 %	0.76	0.19	574
124	25	12627	0.032	8 %	1.4	0.30	156.6
19	14	7788	0.018	5 %	3.3	2.42	1353.6
16	2.7	6030	0.0035	6 %	3.16	0.51	1153
18	2	5176	0.0026	4 %	1.7	0.18	495
32	4.4	6602	0.0057	5 %	3.57	0.48	730.6
20	2.5	15225	0.0032	2 %	1.5	0.19	1125.0
35	4	11788	0.0052	4 %	4.9	0.61	1666
69	9	901	0.011	5 %	5.18	0.64	129.8
30	3	7537	0.0039	3 %	2.56	0.24	640
22	2	3467	0.0026	2 %	1.56	0.13	243.8
54	11	1884	0.014	4 %	3.54	0.75	124
34	5.5	1734	0.0071	5 %	2.62	0.42	130.6
12	1.3	3068	0.0017	5 %	0.71	0.082	183.4
17	9	2649	0.011	7 %	2.12	1.1	253.8
23	2	5426	0.0026	4 %	1.55	0.15	393.8
41	5	2073	0.0065	7 %	4.08	0.45	204.4
19	1.5	2826	0.0019	3 %	1.26	0.1	190
24	4	14316	0.0052	3 %	1.72	0.27	1032
24	7	6122	0.0091	3 %	1.99	0.58	499.8
69	4.5	9045	0.0058	2 %	5.82	0.37	756.6
27	1.5	7653	0.0019	2 %	1.62	0.09	243.2

Tab. 1 2. 5

<u>Sr-90</u>			<u>Ca</u>
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	mg/gFr
< 0.033	< 0.008	< 24.6	0.008/0.002/6.6
0.025	0.006	19	47 %
< 0.14	< 0.029	< 14.7	0.039/0.007/4
2.69	1.92	1077.4	5 %
3.22	0.52	1174.5	6 %
0.87	0.096	252	5 %
0.96	0.13	196.5	18 %
0.69	0.089	522.8	5 %
2.46	0.31	839.7	6 %
2.32	0.22	581.2	5 %
0.24	0.02	37.2	18 %
0.78	0.16	27.4	15 %
0.69	0.11	34.7	13 %
0.17	0.02	44.3	33 %
2.38	1.25	358	7 %
0.91	0.087	217.5	7 %
0.74	0.082	37	14 %
0.31	0.025	47.2	24 %
1.65	0.27	992.6	8 %
0.32	0.095	81.2	10 %
0.94	0.061	121.8	6 %
0.14	0.0043	21.5	25 %

	Frisch- gewicht	Trocken- gewicht	<u>Ce-144</u>				
	g/m ²	g/m ²	% vom Fr.G.	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
Zuckerrüben:							
Kraut	1900	550	29	24	7	13200	2 %
Krautende (aus dem Boden ragend)	465	115	25	4	1	473	7 %
Zuckerrüben:							
<u>Grosse</u> Körper	2815	515	18	0.53	0.09	273	38 %
Pressrückstand	160	35	20	2	0.43	69	19 %
Saft	310	310	100	<0.05	<0.05	<15	0.02/0.02/7
ob. + unt. Enden	1460	290	20	2	0.4	528	12 %
<u>Mittlere</u> Körper	2750	610	22	<0.86	<0.2	<529	0.28/0.063/174
Pressrückstand	240	60	25	1.5	0.3	52	38 %
Saft	300	300	100	<0.05	<0.05	<15	0.035/0.035/10
ob. + unt. Enden	1240	265	21	1.5	0.3	403	19 %
<u>Kleine</u> Körper	2690	555	20	0.6	0.1	334	48 %
Pressrückstand	220	60	27	<8	<2	<472	7/2/427
Saft	205	205	100	<1	<1	<207	0.6/0.6/119

<u>Sb-125</u>				<u>Ru-106</u>			
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
3.3	0.96	1835	26 %	1.4	0.43	811	10 %
< 0.7	< 0.2	< 88	0.44/0.1/50	0.2	0.052	24	35 %
< 0.69	< 0.13	< 358	0.28/0.05/143	< 0.17	< 0.03	< 86	0.05/0.009/2
< 1	< 0.2	< 38	0.53/0.1/19	< 0.28	< 0.06	< 10	0.093/0.02/3
< 0.2	< 0.2	< 62	0.1/0.1/31	< 0.09	< 0.09	< 30	0.035/0.035/1
< 0.76	< 0.15	< 222	0.32/0.064/95	0.1	0.023	33	49 %
< 0.4	< 0.088	< 244	0.39/0.08/237	< 0.1	< 0.022	< 61	0.068/0.015/4
< 1.7	< 0.44	< 106	1/0.25/60	< 0.08	< 0.021	< 5	0.17/0.043/1
0.87	0.87	262	19 %	0.14	0.14	42	38 %
< 0.8	< 0.16	< 216	0.4/0.08/108	< 0.1	< 0.022	< 27	0.068/0.014/18
< 0.63	< 0.13	< 352	0.4/0.084/225	< 0.1	< 0.024	< 65	0.073/0.015/40
< 14	< 4	< 840	9/3/584	< 3.4	< 1	< 207	1.7/0.5/104
< 1.8	< 1.8	< 366	0.8/0.8/167	0	0	0	0.14/0.14/29

<u>Cs-137</u>				<u>Mn-54</u>			
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
3	0.9	1737	4 %	0.3	0.09	169	19 %
0.77	0.2	89	8 %	0.07	0.016	8	42 %
0.17	0.032	91	23 %	< 0.044	< 0.008	< 22	0.018/0.0033/9
0.4	0.085	14	20 %	< 0.1	< 0.023	< 4	0.035/0.0076/1
0.05	0.05	16		< 0.03	< 0.03	< 9	0.012/0.012/4
0.3	0.06	86	17 %	< 0.06	< 0.012	< 18	0.02/0.0043/6
0.18	0.04	111	32 %	< 0.03	< 0.007	< 18	0.027/0.006/16
0.33	0.082	20	44 %	< 0.1	< 0.028	< 7	0.066/0.016/4
0.74	< 0.74	< 222		0.1	0.1	35	17 %
0.64	0.13	169	9 %	< 0.063	< 0.013	< 17	0.028/0.006/7
0.22	0.047	126	25 %	< 0.067	< 0.014	< 37	0.027/0.0055/15
< 4	< 1	< 238		< 1.8	< 0.5	< 109	0.67/0.18/40
0.45	< 0.45	< 93		< 0.1	< 0.1	< 2	0.055/0.055/1

Tab.1 3.4

<u>K-40</u>					<u>Total γ</u>		
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	gK/gFr	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²
33	9	17930	0.011	4 %	4.46	1.29	2453
9	2	1049	0.0026	7 %	1.0	0.25	117
8	1.5	4274	0.0019	5 %	0.57	0.1	297.8
11	2.5	404	0.0032	7 %	0.75	0.16	27.2
8	8	2468	0.01	24 %	0.14	0.14	42.2
8	1.5	2279	0.0019	6 %	0.64	0.12	184.8
7	1.5	4374	0.0019	8 %	0.41	0.09	250.6
6.4	1.4	233	0.0018	18 %	0.56	0.14	33.8
<11	<11	<3361	0.014	3/3/963	0.37	0.37	102.4
7	1.5	1790	0.0019	8 %	0.66	0.14	176
7	1.5	4123	0.0019	8 %	0.49	0.1	274.2
<28	<8	<1668	0.0100	14/4/840	0.80	0.21	47.74
<4	<4	<849	0.0052	1/1/242	0.16	0.16	34

pC/gTr	<u>Sr-90</u>		Fehler	<u>Ca</u>
	pC/gFr	pC/m ²		mg/gFr
1.08	0.315	598.5	9 %	5.21
0.094	0.017	48.6	5 %	0.57
0.27	0.06	9.6	23 %	0.47
0.004	0.004	1.18	21 %	0.11
0.21	0.043	62.3	4 %	0.49

T a b e l l e 2

	<u>pC Sr-90</u> g Ca	<u>pC Sr-90</u> g K	<u>pC Cs-137</u> g K	<u>pC Sr-90</u> <u>pC Cs-137</u>	<u>pC Sr-90</u> <u>pC Total-γ</u>
Weizen:					
Körner	369.2	24.4	133	0.18	0.27
Spreu	701.7	105.4	208	0.51	0.44
Stroh	307.2	66.4	143	0.46	0.44
Wurzeln	83.2	33.7	69	0.49	0.31
Boden ob. 10 cm		8.9	32	0.27	
Boden unt. 10 cm		9.3	24	0.38	
Hafer:					
Körner	55.9	20.3	92	0.22	0.25
Spreu	264.7	102.8	215	0.48	0.36
Stroh	136.2	36.9	69	0.53	0.35
Wurzeln	46.4	20.9	33	0.64	0.26
Gerste Sorte a:					
Körner			65		
Spreu			213		
Stroh			43		
Gerste Sorte b:					
Körner	169.7	9.7	55	0.17	0.15
Spreu	290.8	78.8	120	0.47	0.43
Stroh	158.9	25.7	38	0.67	0.28
Wurzeln	33.4	20.2	51	0.39	0.20
Boden ob. 10 cm	57.3	10.1	48	0.21	
Boden unt. 10 cm	31.1	5.1	31	0.16	
Bohnen:					
Stauden	49.9	35.3	46	0.78	0.37
Bohnen	14.9	5.7	17	0.35	0.10
Wurzeln			20		
Rüebli:					
ohne Schalen	38.7	6.5	16	0.41	0.15
Schalen	71.2	8.1	19	0.42	0.16
Kraut	45.8	26.0	36	0.71	0.29
Boden ob. 10 cm	11.3	17.1	61	0.28	
Boden unt. 10 cm	7.2	12.8	54	0.24	
Sellerie:					
Kraut	153.1	148.5	94	1.58	1.0
Knollen	119.3	36.9	36	1.01	0.53
Wurzeln	32.8	22.8	35	0.65	0.27

	<u>pC Sr-90</u> g Ca	<u>pC Sr-90</u> g K	<u>pC Cs-137</u> g K	<u>pC Sr-90</u> <u>pC Cs-137</u>	<u>pC Sr-90</u> <u>pC Total-γ</u>
Kart. Benedetta:					
mit Schale	< 31.1	< 2.05	10	< 0.095	< 0.021
ohne Schale	8.7	1.50	9	0.016	0.033
Schalen	< 12.1	< 0.90	22	< 0.02	< 0.045
Stauden	62.4	106.6	133	0.80	0.79
Boden ob. 10 cm	2.5	11.8	34	0.34	
Boden unt. 10 cm	0.6	2.8	28	0.098	
Kartoffeln Cosima:					
mit Schale			11		
Stauden (vor Verg.)			115		
Boden ob. 10 cm		11.3	44	0.25	
Boden unt. 10 cm		5.1	23	0.22	
Randen:					
Randen	143.8	27.8	12	2.2	0.47
Kraut	124.0	59.6	85	0.70	0.51
Wurzeln			19		
Kohl:					
Aeussere Blätter	53.6	56.4	19	2.9	0.92
Kopf	44.4	7.7	13	0.57	0.15
Strauch	62.7	11.4	21	0.55	0.22
Wurzeln	70.2	15.5	14	1.1	0.26
Zwiebeln:					
Zwiebeln	48.5	11.7	9	1.34	0.24
Schalen	628.3	113.6	60	1.9	1.1
Lauch:					
Stengel	86.6	33.4	16	2.03	0.58
Wurzeln	73.5	12.6	21	0.58	0.18
Boden ob. 10 cm	137.5	11.6	36	0.32	
Boden unt. 10 cm	70.0	7.3	25	0.29	
Blumenkohl:					
Blumen	58.6	13.1	17	0.78	0.25
Blätter	64.3	51.9	19	2.7	0.99
Wurzeln	256.7	10.4	47	0.22	0.16
Boden ob. 10 cm	13.0	19.4	81	0.23	
Boden unt. 10 cm	17.7	38.4	91	0.42	

	<u>pC Sr-90</u> g Ca	<u>pC Sr-90</u> g K	<u>pC Cs-137</u> g K	<u>pC Sr-90</u> pC Cs-137	<u>pC Sr-90</u> pC Total-γ
Spinat:					
Blätter	84.5	10.5	14	0.76	0.16
Tomaten:					
Früchte	21.5	2.3	10	0.22	0.047
Zuckerrüben:					
Kraut	65.1	28.6	82	0.35	0.24
Krautende			77		
<u>Grosse</u> Körper	30.0	8.9	17	0.54	0.14
Pressrückstand	127.6	18.7	26	0.70	0.37
Saft	38	0.4	5	0.03	0.028
ob. + unt. Enden	87.3	22.6	31	0.71	0.47
<u>Mittlere</u> Körper			21		
Pressrückstand			45		
ob. + unt. Enden			68		
<u>Kleine</u> Körper			25		
Boden ob. 110 cm	53.5	13.2	46	0.28	
Boden unt. 10 cm	21.7	7.6	31	0.24	

Anmerkung: Die Bodenprobe für Rübli ist räumlich repräsentativ auch für Kohl, Zwiebeln und Spinat, jene für Lauch ebenso auch für Sellerie und Randen.

Die Bodenprobe für Gerste b ist räumlich und zeitlich repräsentativ auch für Gerste a und Hafer.

Die Bodenprobe für Bohnen ist räumlich repräsentativ auch für Tomaten und Blumenkohl.

$\frac{\text{pc}}{\text{m}^2}$ in essbaren Teilen (%)
 $\frac{\text{pc}}{\text{m}^2}$ in ganzer Pflanze

	<u>Frischgew.essbare Teile</u> %		Total γ	Sr-90	Cs-137	Ru-106	Ce-144	Mn-54	Sb-125
Weizenkörner	28		5	4 +0.8	10 + 2		2+0.6	8+ 4	0.75+0.75
Haferkörner	18		2	2 +0.4	6 + 2	0.5+0.5	1+0.5	3+ 3	
Gerstenkörner	30		5	3 +0.6	9 + 3		3+ 1		
Bohnen	68		33	13 +4.5	20 + 5	17+17	9+ 2		
Rüebli ohne Schale	69		52	20 + 3	28 + 9		1+ 1		8 + 8
Kartoffel mit Schale	84		28	1 +0.6	8 + 2		6+ 2	7+ 7	16 +15
Kartoffel ohne Schale	73		27	2 + 1	6 + 2		8+ 3	1+ 1	4 + 4
Sellerieknollen	41		21	15 +1.5	18 + 4	10+ 4	10+ 2	10+ 8	
Randen	68		58	39 + 4	17 + 4	30+ 8	8+ 3		
Kohl-Kopf	37		21	6 +1.5	19 + 4		2+ 2		7 + 7
Kohl-Strunk	3		11	4 +0.8	14 + 4		13+ 2		
Zwiebeln	89		42	11 + 5	15 + 7	8+ 8		28+28	
Lauchstengel (alle Blätter)	84		66	85 +17	63 +24	17+16	67+21	15+15	42 +42
Blumenkohl	29		11	4 +1.3	7 + 2	5+ 5	8+ 2		
Zuckerrübensaft	4		1	0.9+0.3	0.3+0.3				

Tabelle 4

Vaseline

Expositionszeit

Oerlikon

	<u>Ce-144</u>		<u>Sb-125</u>		<u>Ru-106</u>		<u>Sr-90</u>		<u>Cs-137</u>		<u>Mn-54</u>		<u>Total Y</u>	
	pC/m ²	Fehler	pC/m ²	Fehler	pC/m ²	Fehler	pC/m ²	Fehler	pC/m ²	Fehler	pC/m ²	Fehler	pC/m ²	pC/m ²
21.4.-21. 7.64	42762	19 %	15934	9 %	2000	17 %	162	16 %	4101	4 %	487	9.8/126	9158	
21.7.- 4. 8.64	2308	10 %	<1481	16/391	<200	4/92	68	31 %	191	22 %	58	1.4/34	406	
4.8.-15. 9.64	8601	4 %	2796	19 %	316	40 %	196	84 %	1184	5 %	114	2.4/46	2072	
15.9.-28. 9.64	1653	14 %	<1006	27/391	<79	6.4/92	<202	87 %	146	29 %	39	2.3/34	200	

Wädenswil

21.4.- 4. 8.64	61120	2 %	20410	9 %	2794	16 %	356	60 %	3007	7 %	412	41 %	11017	
4.8.-15. 9.64	8599	5 %	2481	31 %	<610	16/179	397	28 %	609	14 %	140	6/68	1551.4	
15.9.-26.10.64	4560	5 %	1673	23 %	<227	4.5/91	111	65 %	273	15 %	94	1.7/34	855.4	

Fallout - Totalisator

Expositionszeit

20.3.- 1. 5.64							1195	8 %					6930	
1.5.-12. 6.64	19230	3 %	9382	6 %	3845	6 %	2250	4 %	4101	3 %	547	15 %	10485	
12.6.-26. 7.64	21082	7 %	6591	24 %	4738	13 %	1503	7 %	2655	11 %	398	58 %	9090	
7.8.-18. 9.64	15525	7 %	1912	68 %	2369	21 %	1006	8 %	2857	8 %	317	60 %	6210	
18.9.-30.10.64	7609	10 %	2002	40 %	1894	16 %	756	8 %	1208	13 %	299	40 %	3735	

T a b e l l e 5

<u>Boden</u>	<u>Ertrag</u> kg/m ² 10 cm tief	pC/m ²	<u>Ce-144</u> pC/Kg	Fehler
Weizen:				
obere 10 cm	125	428'125	3425	19 %
untere 10 cm	128	417'536	3262	21 %
Gerste:				
obere 10 cm	122	686'494	5627	14 %
untere 10 cm	124	434'868	3507	21 %
Rüebli:				
obere 10 cm	124	667'368	5382	14 %
untere 10 cm	127	600'710	4730	17 %
Kartoffeln Benedetta:				
obere 10 cm	123	431'361	3507	18 %
untere 10 cm	125	326'125	2609	23 %
Kartoffeln Cosima:				
obere 10 cm	123	742'305	6035	12 %
untere 10 cm	126	328'734	2609	27 %
Lauch:				
obere 10 cm	125	550'250	4402	20 %
untere 10 cm	123	441'078	3586	17 %
Blumenkohl:				
obere 10 cm	121	900'360	7503	11 %
untere 10 cm	124	< 2829'680	< 22820	1111'908/8967
Zuckerrübe:				
obere 10 cm	125	805'375	6443	16 %
untere 10 cm	127	611'124	4812	20 %

	<u>Sb-125</u>			<u>Ru-106</u>		
	pC/m ²	pC/Kg	Fehler	pC/m ²	pC/Kg	Fehler
	347'500	2780	32 %	110'500	884	18 %
	398'080	3110	30 %	113'152	884	19 %
	480'680	3940	26 %	148'962	1221	15 %
	420'360	3390	29 %	125'240	1010	18 %
	496'372	4003	25 %	151'400	1221	15 %
	494'030	3890	28 %	160'401	1263	16 %
	388'680	3160	30 %	108'732	884	17 %
	347'500	2780	30 %	94'750	758	19 %
	628'530	5110	19 %	134'685	1095	16 %
	356'580	2830	33 %	116'676	926	19 %
	403'000	3224	34 %	136'875	1095	19 %
	362'358	2946	32 %	113'898	926	17 %
	500'400	4170	28 %	161'640	1347	15 %
<2889'200	<23300	1516'520/12'230	<574'120	<4630	271'560/2190	
	639'375	5115	27 %	194'750	1558	16 %
	550'672	4336	30 %	160'401	1263	18 %

<u>Cs-137</u>			<u>Mn-54</u>		
pC/m ²	pC/Kg	Fehler	pC/m ²	pC/Kg	Fehler
77'500	620	21 %	12'125	97	62 %
55'987	437	32 %	10'969	86	66 %
124'562	1021	15 %	19'032	156	46 %
81'344	656	22 %	13'268	107	64 %
144'584	1166	13 %	21'700	175	39 %
129'667	1021	16 %	19'812	156	48 %
76'137	619	20 %	13'161	107	54 %
63'750	510	24 %	13'375	107	53 %
103'074	838	17 %	14'391	117	58 %
55'062	437	33 %	12'096	96	65 %
86'500	692	30 %	15'750	126	58 %
58'179	473	22 %	14'268	116	56 %
192'480	1604	10 %	22'200	185	42 %
<587'636	<4739	226'052/1823	156'984	1266	65 %
145'000	1166	18 %	26'750	214	44 %
92'583	729	26 %	19'812	156	57 %

<u>K-40</u>				<u>Sr-90</u>			<u>Ca</u>
pC/m ²	pC/Kg	gK/kg	Fehler	pC/m ²	pC/Kg	Fehler	g Ca/Kg
1827'375	14'619	19	10 %	21'250	170	9 %	2.6
1852'032	14'669	18	11 %	21'504	168	9 %	2.7
2021'540	16'570	21	10 %	25'864	212	16 %	3.7
2054'680	16'570	21	10 %	13'516	109	38 %	3.5
1868'928	15'072	19	11 %	40'176	324	14 %	28.7
1914'144	15'072	19	10 %	30'988	244	15 %	33.9
1686'945	13'715	18	10 %	26'199	213	15 %	84.2
1752'000	14'016	18	10 %	6'250	50	52 %	85.5
1853'856	15'072	19	10 %	26'445	215	7 %	1.6
1899'072	15'072	19	10 %	12'222	97	12 %	1.2
1884'000	15'072	19	11 %	27'500	220	16 %	1.6
1816'710	14'770	19	11 %	17'220	140	13 %	2.0
1808'640	15'072	19	12 %	44'770	370	7 %	28.3
2241'920	18'080	12	100 %	57'164	461	11 %	26.0
2448'750	19'590	25	12 %	41'500	332	13 %	6.2
2296'160	18'080	23	11 %	22'352	176	10 %	8.1

G r a s	Frisch- gewicht g/m ²	Trocken- gewicht g/m ² % vom Fr.G.	<u>Ce-144</u>			<u>Sb-125</u>			<u>Ru-106</u>						
			pC/gTr	pC/gFr	pC/m ² Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ² Fehler			
<u>unbedeckt:</u>															
1	30.4.-22.5.64	476	94	19	55	11	5170	11	2	1046	9 %	1.5	0.3	143	12 %
2	22.5.-12.6.64	632	115	18	54	10	6245	14	2.4	1577	21 %	3	0.5	313	18 %
3	12.6.- 3.7.64	169	33	19	31	6	1023	18	3.8	627	15 %	6	1	199	8 %
4+5	3.7.-28.8.64	495	82	16	36	6	2980	9	1.5	762	32 %	2	0.3	161	28 %
6	28.8.-18.9.64	137	25	18	33	6	873	14	2.6	363	15 %	2	0.45	63	16 %
7	18.9.-9.10.64	135	59	43	35	15	2072	<8	<3.4	<461	2/0.95/128	4.5	2	269	14 %
<u>bedeckt:</u>															
1		858	119	14	6	0.8	724	1.5	0.2	174	32 %	0.3	0.03	33	30 %
2		996	105	10	8	0.8	841	1.8	0.2	124	35 %	0.67	0.075	75	16 %
3		302	42	14	9	1.2	377	<5	<0.7	<209	1.5/0.2/64	<0.6	<0.075	<26	0.03/10
4+5		666	110	16	6	1	702	1.5	0.3	180	35 %	0.5	0.075	56	20 %
6		470	62	13	10	1.3	636	3	0.4	189	25 %	0.75	0.09	46	18 %
7		120	23	19	11	2.2	265	<6	<1.3	<153	1.8/0.4/44	1.8	0.35	43	18 %

<u>Cs-137</u>			<u>Mn-54</u>			<u>Total γ</u>			<u>K-40</u>			<u>Ca</u>				
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	pC/gTr	pC/gFr	gK/gFr	Fehler	pC Ca g K	
3.7	0.75	377	4 %	0.7	0.15	72	9 %	5.62	1.1	527.8	16	3	1558	0.0039	9 %	192
6	1	673	7 %	0.9	0.16	101	22 %	7.3	1.36	838.6	27	5	3132	0.0065	15 %	154
4.5	0.75	153	9 %	3	0.57	95	10 %	11.46	2.27	385	59	11	1956	0.014	7 %	53
3.3	0.56	288	13 %	0.46	0.09	43	38 %	5.04	0.83	413.8	24	4	1939	0.0052	19 %	107
3.7	0.75	101	8 %	1	0.2	30	12 %	7.26	1.32	181.5	39	7	968	0.0091	9 %	82
5	2	288	11 %	0.7	0.3	39	37 %	8.04	3.51	474.2	58	2.5	3413	0.0032	9 %	625
1	0.15	131	.6 %	0.2	0.023	24	15 %	2.24	0.31	270	25	3.3	2874	0.0043	2 %	35
1.3	0.13	130	7 %	0.23	0.023	25	19 %	1.56	0.16	164.2	26	2.7	2737	0.0035	4 %	37
1.3	0.18	56	16 %	0.46	0.07	23	19 %	2.7	0.37	113.2	28	4	1180	0.0052	8 %	34
0.75	0.13	90	10 %	0.23	0.03	22	18 %	1.76	0.29	196	17	2.8	1864	0.0036	5 %	36
1.5	0.33	90	8 %	0.27	0.03	16	19 %	2.68	0.35	166	25	3.2	1527	0.0041	5 %	80
1.5	0.3	35	19 %	0.25	0.05	6	49 %	3.16	0.6	72.8	41	8	942	0.0100	7 %	30

T a b e l l e 7

			Frisch- gewicht g/m^2	Trocken- gewicht g/m^2	% vom Fr.G.
<u>Kresse, Boden 1</u>					
<u>unbedeckt:</u>					
1	30.4.-22.5.64	<u>Blätter</u>	272	10	3.6
2	22.5.-12.6.64		247	24	10
3	12.6.- 3.7.64		360	38	10
4	3.7.-24.7.64		84	11	13
5	7.8.-28.8.64		437	50	11
6	28.8.-18.9.64		379	45	12
7	18.9.-9.10.64		253	25	10
1		<u>Wurzeln</u>	-	-	-
2			125	8.4	6.7
3			220	13	6
4			24	5	20
5			58	14	24
6			148	69	46
7			153	61	40
<u>bedeckt:</u>					
1		<u>Blätter</u>	64	7.6	11
2			126	16	12
3			291	26	9
4			16	2	12
5			359	35	10
6			415	46	11
7			305	33	11
1		<u>Wurzeln</u>	31	5.6	18
2			45	4	9
3			73	29	39
4			5.5	2	36
5			104	37	35
6			135	77	57
7			92	29	31

Ru-106Cs-137

pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
6	0.22	61	17 %	2.7	0.1	26	18 %
3.4	0.3	82	48 %	1.7	0.16	41	46 %
1.5	0.15	50	12 %	0.75	0.086	30	9 %
4.5	0.6	50	29 %	1.8	0.26	22	34 %
1.7	0.19	87	11 %	0.9	0.11	45	9 %
2.2	0.3	105	13 %	1.1	0.15	52	12 %
2.2	0.2	52	22 %	1.8	0.18	49	20 %
-	-	-	-	-	-	-	-
6	0.45	53	19 %	1.8	0.12	15	30 %
< 9.7	< 0.57	< 126	2.9/0.17/38	< 3.7	< 0.22	< 48	1.3/0.078/17
6.7	1.5	34	24 %	1.8	0.37	11	38 %
5.2	1.2	73	24 %	1.5	0.33	18	41 %
2.2	1.1	168	22 %	0.75	0.33	52	33 %
3	1.1	168	19 %	1.1	0.4	63	42 %
3	0.37	23	24 %	0.75	0.093	6	42 %
< 7.5	< 1.1	< 131	2.5/0.3/41	< 1.6	< 0.2	< 25	1.2/0.15/19
0.9	0.15	24	30 %	0.33	0.03	7.5	37 %
17	2.2	35	23 %	< 7	< 0.85	< 14	1.9/0.24/3.8
1	0.1	37	22 %	0.37	0.037	15	25 %
1.8	0.2	85	19 %	0.75	0.075	33	24 %
2.2	0.22	70	22 %	1	0.13	41	33 %
2.2	0.45	13.5	50 %	1.6	0.29	9	36 %
9.7	0.75	40	22 %	1.8	0.15	7.5	50 %
4.5	1.7	126	14 %	0.5	0.22	15	50 %
< 36	< 16	< 89	18/6.7/37	< 18	< 6.6	< 36	8.6/3.1/17
2.2	0.75	90	21 %	0.6	0.22	22	38 %
< 23	< 13.5	< 1782	9.4/5.4/726	< 7.5	< 3.7	< 710	4.3/2.5/337
2.2	0.75	71	39 %	< 2.7	< 0.86	< 82	0.81/0.25/23

Ce-144Sb-125

pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
31	1	310	8 %	18	0.6	180	17 %
11	1	269	39 %	< 17	< 1.53	< 410	5/0.5/123
6	0.7	245	6 %	1.2	0.14	49	40 %
12	1.5	130	29 %	0	0	0	4.2/0.55/46
9	1	465	5 %	1.4	0.15	70	39 %
10	1.2	465	7 %	2.5	0.3	110	36 %
55	5.5	1386	14 %	< 9	< 0.9	< 223	2.8/0.28/70
-	-	-	-	-	-	-	-
14	1	122	21 %	< 11	< 0.76	< 107	3.6/0.25/31
14	0.8	188	47 %	< 20	< 1	< 246	8.8/0.5/115
14	3	71	29 %	< 15	< 3	< 79	5/1/25
9	2	130	36 %	0	0	0	3.9/0.94/54
6.4	3	440	22 %	3	1.5	237	47 %
32	13	1957	28 %	< 8	< 3	< 502	3.2/1.3/195
< 4	< 0.5	< 30	1.8/0.2/14	4.6	0.56	36	46 %
< 8	< 1	< 140	6.6/0.8/106	< 18	< 2.3	< 319	7.8/1/126
< 1.5	< 0.15	< 46	0.72/0.064/19	< 1	< 0.1	< 30	0.86/0.076/22
< 27	< 3	< 54	10/1.3/21	< 38	< 4.6	< 78	12/1.6/25
1.6	0.16	57	35 %	< 1.1	< 0.011	< 40	0.68/0.067/24
4	0.5	195	22 %	< 3	< 0.37	< 153	1.1/0.12/52
25	2.7	816	32 %	< 4	< 0.46	< 133	2.7/0.3/91
11	2	60	29 %	< 14	< 2.3	< 79	3.7/0.67/21
14	1	56	40 %	< 23	< 1.5	< 93	7/0.6/28
3.3	1.3	98	40 %	4.6	1.5	121	45 %
< 126	< 46	< 253	45/16/89	< 124	< 43	< 251	55/20/110
5	1.8	187	25 %	< 4.6	< 1.5	< 180	1.5/0.55/57
< 51	< 29	< 3915	24/14/1874	< 55	< 32	< 4322	27/15/2097
< 56	< 18	< 1631	10.3/5/473	< 11	< 3.6	< 335	5.7/1.8/167

<u>Mn-54</u>				<u>Total γ</u>		
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²
1.6	0.057	16	24 %	12.72	0.468	127.2
< 2.2	< 0.23	< 53	0.6/0.06/15	8.4	0.816	201.8
< 0.11	< 0.013	< 5	0.06/0.006/2	3.2	0.34	122.4
< 1.1	< 0.13	< 13	0.5/0.066/5.6	5.16	0.676	56.8
0.18	0.02	9	38 %	3.9	0.44	194.5
0.23	0.03	11	43 %	4.78	0.568	215.8
< 0.7	< 0.07	< 18	0.18/0.018/4.6	6.0	0.59	150.2
-	-	-	-	-	-	-
< 1.4	< 0.09	< 11	0.43/0.03/3.6	9.68	0.648	81.2
< 2.5	< 0.16	< 32	1/0.063/14	6.36	0.37	82.8
< 1.4	< 0.34	< 7	0.63/0.13/3	11.26	2.34	56.2
< 1.1	< 0.23	< 16	0.47/0.1/6.5	5.3	1.27	74.2
< 0.7	< 0.23	< 43	0.2/0.09/13	4.8	2.26	335.0
0.46	0.17	27	47 %	4.66	1.86	285.0
< 0.8	< 0.09	< 6	0.26/0.031/2.0	5.14	0.608	39.0
< 2.7	< 0.34	< 47	0.94/0.12/15	6.58	0.83	105.2
< 0.15	< 0.013	< 3.9	0.1/0.009/2.6	3.36	0.3	87.4
3.4	0.46	7	41 %	12.72	2.64	42.4
< 0.1	< 0.01	< 3.7	0.08/0.008/3	2.34	0.22	81.8
< 0.46	< 0.046	< 19	0.13/0.015/6	4.08	0.45	187.8
< 0.7	< 0.07	< 19	0.2/0.020/6	5.2	0.56	171.8
< 1.7	< 0.34	< 9	0.43/0.078/2.4	7.54	1.36	42.2
2.3	0.18	9	35 %	14.88	1.32	59.4
0.46	0.19	14	46 %	6.92	2.74	201.0
< 16	< 5.3	< 29	6.6/2.4/13	5.26	1.89	10.4
< 0.55	< 0.19	< 20	0.18/0.065/6.8	4.34	1.54	160.6
< 6.6	< 3.7	< 508	3.5/2/268	5.04	2.87	388.6
< 1.1	< 0.34	< 31	0.38/0.12/11	4.3	1.34	125.0

<u>K-40</u>					
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	gK/gFr	Fehler	$\frac{\text{pC Cs-137}}{\text{gK-40}}$
28	1	277	0.0013	16 %	77
36	3.5	859	0.0045	20 %	35
14	1.5	527	0.0019	5 %	45
19	2.5	208	0.0032	32 %	78
14	1.6	721	0.0021	6 %	52
17	2	776	0.0026	7 %	57
5.4	0.5	136	0.00065	6 %	277
-	-	-	-	-	-
36	2.4	305	0.0031	14 %	38
25	1.5	332	0.0019	48 %	< 115
43	9	213	0.011	16 %	34
26	6	360	0.0077	21 %	43
22	10	1524	0.013	10 %	25
4	1.5	244	0.0019	8 %	210
18	2	135	0.0026	17 %	36
40	5	637	0.0065	27 %	< 31
22	2	582	0.0026	5 %	11
47	6	94	0.0077	39 %	< 97
13	1.3	471	0.0017	7 %	22
21	2.3	970	0.0029	7 %	26
5.4	0.6	180	0.00077	5 %	170
32	6	180	0.0077	17 %	37
53	5	213	0.0065	18 %	23
30	12	887	0.015	8 %	15
< 154	< 53	< 309	0.068	79/28.7/158	-
21	7.5	776	0.0097	10 %	22
< 115	< 66	< 8870	0.085	39/22/3049	-
4	1	114	0.0013	16 %	< 661

T a b e l l e 8

		Frisch- gewicht g/m ²	Trocken- gewicht g/m ²	% vom Fr.G.
<u>Kresse, Boden 2</u>				
<u>unbedeckt:</u>				
1	30.4.-22.5.64 <u>Blätter</u>	236	14	6 %
2	22.5.-12.6.64	191	23	12 %
3	12.6.- 3.7.64	191	25	13 %
4	3.7.-24.7.64	92	14	15 %
5	7.8.-28.8.64	236	23	10 %
6	28.8.-18.9.64	282	42	15 %
7	18.9.-9.10.64	205	27	13 %
1	<u>Wurzeln</u>	22	2.8	12 %
2		56	12	21 %
3		82	39	47 %
4		18	3	16 %
5		51	24	47 %
6		103	62	60 %
7		98	52	53 %
<u>bedeckt:</u>				
1	<u>Blätter</u>	190	23.8	12 %
2		263	34	13 %
3		260	30	11 %
4		60	7	11 %
5		339	25	7 %
6		550	42	8 %
7		205	22	11 %
1	<u>Wurzeln</u>	32	6	19 %
2		54	5	9 %
3		72	24	33 %
4		9	2	22 %
5		60	20	33 %
6		60	24	40 %
7		223	118	53 %

Ce-144Sb-125

pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
40	2.3	555	5 %	17	1	237	13 %
15	2	342	6 %	4.6	0.53	101	26 %
8.5	1	212	12 %	< 4.6	< 0.61	< 113	1.2/0.16/30
12	2	171	8 %	< 4.6	< 0.61	< 59	1/0.16/15
13.5	1.3	310	7 %	< 4.6	< 0.40	< 92	1.1/0.1/25
11	1.6	456	11 %	< 5.3	< 0.76	< 223	1.5/0.22/63
57	7.5	1549	14 %	< 7.6	< 1	< 209	2.9/0.4/78
< 70	< 9	< 196	38/5/106	< 104	< 14	< 292	43/5.5/121
9.5	2	114	20 %	< 6	< 1.4	< 79	2.3/0.5/28
9	4	351	16 %	3	1.5	139	49 %
< 81	< 13	< 244	30/5/89	< 102	< 17	< 306	36/6/109
8	4	196	41 %	< 12	< 6	< 320	4/1.9/99
6	3.6	375	24 %	< 6	< 3.5	< 361	1.7/1/106
42	22	2202	20 %	< 8.3	< 4.3	< 431	2.9/1.5/153
< 9	< 1	< 212	3.1/0.4/75	< 12	< 1.5	< 292	3.75/0.47/89
3	0.4	106	23 %	1.5	0.23	61	49 %
5	0.6	155	19 %	2.3	0.3	70	50 %
< 4	< 0.4	< 28	1.4/0.16/9.7	< 2.5	< 0.3	< 18	1.6/0.18/11
< 10	< 0.7	< 245	2.9/0.2/72	< 3	< 0.25	< 84	3/0.25/84
9	0.7	383	42 %	< 4.6	< 0.3	< 180	1.3/0.1/57
18	2	407	42 %	< 5.3	< 6	< 119	2.7/0.29/60
< 23	< 4	< 138	19/3.5/114	< 55	< 11	< 335	22/4.2/135
0	0	0	2.7/0.25/14	< 4.6	< 0.9	< 21	3.3/0.3/16
< 14	< 5	< 342	4.4/1.4/106	< 14	< 4.6	< 349	5/1.7/121
< 122	< 27	< 244	44/10/89	< 139	< 30	< 278	55/12/110
15	5	293	15 %	7.6	2.5	153	33 %
< 7	< 3	< 171	2.4/0.9/57	< 9	< 3.8	< 233	2.8/1.1/68
28	15	3344	24 %	< 7.6	< 3.9	< 919	2.4/1.3/293

Ru-106				Cs-137			
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler	pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	Fehler
4.5	0.26	61	17 %	2.1	0.12	30	17 %
3.4	0.37	79	11 %	1.3	0.15	30	14 %
1.5	0.22	39	26 %	0.9	0.11	22	21 %
2.2	0.34	3.75	17 %	1.3	0.19	19	13 %
2.2	0.19	45	18 %	1.4	0.11	32	12 %
1.8	0.26	74	28 %	1.1	0.16	45	19 %
3	0.37	80	17 %	2.5	0.33	67	16 %
< 41	< 5.2	< 115	14/1.8/40	< 15	< 1.8	< 45	6.5/0.8/18
4.5	0.75	56	16 %	0.75	0.15	7.5	48 %
3.7	1.5	147	16 %	0.75	0.33	26	38 %
< 33	< 5.2	< 98	12/2/36	< 13	< 2.2	< 41	5/0.9/16
< 5.2	< 2.5	< 126	1.3/0.6/32	< 2.2	< 0.97	< 48	0.6/0.3/15
3	1.7	178	19 %	0.52	0.3	33	49 %
3	1.5	147	18 %	1.5	0.74	82	28 %
< 3	< 0.37	< 73	1.2/0.15/29	< 1.7	< 0.2	< 41	0.57/0.07/13
1	0.15	35	28 %	< 0.48	< 0.06	< 16	0.13/0.017/4.6
2.2	0.22	61	19 %	0.74	0.074	22	25 %
2.6	0.3	19	20 %	0.52	0.063	3.7	45 %
< 2.2	< 0.15	< 54	1.1/0.08/28	< 1.3	< 0.1	< 34	0.5/0.04/13
0.75	0.06	34	28 %	0.37	0.03	19	46 %
1.5	0.15	34	31 %	1.3	0.13	28	31 %
< 28	< 5.2	< 168	7.3/1.4/44	< 13	< 2.6	< 82	3.5/0.65/21
3	0.3	16	32 %	1.1	0.1	5.6	41 %
< 6	< 2.2	< 146	1.6/0.55/40	< 2.2	< 0.74	< 56	0.76/0.25/18
< 49	< 10.5	< 98	18/4/37	< 19	< 3.7	< 41	0.6/1.9/17
4.5	1.5	99	17 %	1.5	0.5	32	25 %
2.2	0.75	50	45 %	< 1.5	< 0.56	< 33	0.45/0.19/11
2.2	1.2	283	18 %	1.1	0.6	134	32 %

<u>Mn-54</u>			Fehler	<u>Total γ</u>		
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²		pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²
1.4	0.08	18	20 %	12.52	0.74	175.4
< 0.4	< 0.07	< 12	0.13/0.016/3	6.76	0.81	155.6
< 0.4	< 0.06	< 11	0.14/0.02/3.6	4.66	0.61	116.4
< 0.4	< 0.06	< 5.5	0.14/0.02/2	5.86	0.89	82.0
< 0.4	< 0.04	< 10.5	0.13/0.01/3	5.84	0.56	134.4
< 0.7	< 0.1	< 29	0.17/0.02/7.5	5.46	0.81	229.4
0.34	0.04	9	50 %	5.62	0.73	151.6
< 16	< 2	< 46	5.2/0.66/14	28.3	3.67	79.2
< 0.7	< 0.16	< 9	0.28/0.06/3.4	6.7	1.42	80.4
< 0.7	< 0.34	< 29	0.2/0.1/8	6.1	2.9	238.0
< 11	< 1.8	< 34	4.3/0.7/13	15.08	2.5	45.2
< 1.4	< 0.7	< 34	0.5/0.2/12	5.2	2.44	124.8
< 0.7	< 0.4	< 41	0.2/0.12/13	4.84	2.91	300.2
0.46	0.22	22	49 %	4.94	2.61	257.0
< 1.3	< 0.16	< 31	0.45/0.056/11	4.1	0.51	97.6
0.23	0.034	8.5	42 %	3.46	0.44	117.6
< 0.46	< 0.057	< 15	0.14/0.017/4	4.68	0.52	140.4
< 0.57	< 0.069	< 4	0.19/0.02/1.3	3.52	0.41	24.6
< 0.7	< 0.046	< 16	0.4/0.03/10	2.92	0.21	73.0
< 0.23	< 0.02	< 12	0.09/0.007/4	3.6	0.26	151.0
< 0.46	< 0.055	< 11	0.17/0.019/4	3.56	0.38	78.6
< 4.4	< 0.9	< 27	2.7/0.51/16	8.98	1.62	53.6
< 0.7	< 0.07	< 3.4	0.4/0.036/2	4.42	0.40	22.0
< 1.5	< 0.46	< 36	0.6/0.2/14	4.96	1.65	119.0
< 17	< 3.7	< 34	6.6/1.5/13	12.7	2.82	25.4
0.7	0.23	14	44 %	9.78	3.26	195.8
< 0.9	< 0.37	< 22	0.34/0.13/8	4.72	1.88	113.4
0.37	0.19	43	45 %	4.0	2.12	473.0

<u>K-40</u>					
pC/gTr	pC/gFr	pC/m ²	gK/gFr	Fehler	<u>pC Cs-137</u> gK-40
33	2	471	0.0026	10 %	46
24	3	554	0.0039	7 %	38
23	3	582	0.0039	7 %	28
24	3.6	332	0.0047	7 %	40
25	2.5	582	0.0032	6 %	34
24	3.6	1025	0.0047	8 %	34
4	0.55	113	0.00071	7 %	464
158	20	443	0.026	39 %	69
27	6	332	0.0077	11 %	19
25	12	997	0.015	9 %	22
< 157	< 26	< 471	< 0.033	51/9/155	-
16	7.6	388	0.0099	36 %	98
23	14	1413	0.018	11 %	17
4	2	210	0.0026	8 %	284
19	2	443	0.0026	29 %	77
19	2	637	0.0026	6 %	23
22	2.5	665	0.0032	7 %	23
27	3	191	0.0039	8 %	16
26	2	665	0.0026	18 %	28
4	0.3	175	0.00039	4 %	77
3	0.35	72	0.00045	9 %	288
< 74	< 14	< 443	< 0.018	32/6/191	-
25	2	127	0.0026	18 %	38
24	8	582	0.0019	29 %	389
< 180	< 40	< 360	< 0.052	80/17.5/158	-
36	12	720	0.015	10 %	33
24	10	582	0.013	16 %	43
3	1.7	388	0.0022	8 %	272

T a b e l l e 9

<u>V a s e l i n e</u>	<u>Ce-144</u>		
	pC/g	pC/m ²	Fehler
<u>unbedeckt:</u>			
1	683	21074	3 %
2	390	13866	3 %
3	260	8075	3 %
4	144	6443	3 %
5	353	11419	4 %
6	97	4241	9 %
7	170	5383	7 %
<u>bedeckt:</u>			
1	< 74	< 1223	25/424
2	< 30	< 505	9.7/163
3	< 30	< 513	9/163
4	< 25	< 562	7/163
5	92	1305	13 %
6	20	367	44 %
7	< 9	< 212	2.4/58

<u>R e g e n</u>		Menge			
	<u>Expositionszeit</u>	1	pC/l		
1	30.4.-22.5.64	19.5	325	6337	2 %
2	22.5.-12.6.64	5.96	449	2676	3 %
3	12.6.- 3.7.64	5.64	405	2284	3 %
4	3.7.-24.7.64	2.2	751	1652	3 %
5	7.8.-28.8.64	12.9	104	1341	4 %
6	28.8.-18.9.64	15.3	59	902	9 %
7	18.9.-9.10.64	12.2	43	524	10 %

<u>Sb-125</u>			<u>Ru-106</u>		
pC/g	pC/m ²	Fehler	pC/g	pC/m ²	Fehler
214	6683	17 %	50	1552	16 %
162	5856	11 %	38	1345	11 %
125	3901	14 %	43	1345	9 %
58	2677	12 %	11	724	11 %
86	2787	31 %	15	465	42 %
34	1423	45 %	21	941	15 %
70	2258	28 %	29	941	16 %
< 73	< 1227	44/726	< 25	< 424	10/168
< 32	< 540	16/270	10	165	37 %
< 32	< 559	16/274	< 6	< 105	3.7/68
< 17.5	< 391	12/274	< 7	< 157	3/64
< 73	< 1034	20/279	< 17	< 242	4.7/66
< 32	< 587	15/277	< 5.5	< 101	3.5/64
8	192	50 %	< 2	< 46	1/23
pC/1			pC/1		
131	2554	7 %	41	799	9 %
157	935	9 %	89	530	6 %
192	1083	8 %	85	479	7 %
217	477	13 %	73	161	14 %
59	761	9 %	28	361	7 %
29	443	19 %	18	275	12 %
29	354	17 %	28	341	7 %

<u>Cs-137</u>			<u>Mn-54</u>			<u>Total γ</u>	
pC/g	pC/m ²	Fehler	pC/g	pC/m ²	Fehler	pC/m ²	
45	1365	8 %	< 10	< 314	3/92	4230	
48	1728	4 %	7	266	21 %	3868	
37	1182	5 %	4.6	143	30 %	2630	
30	830	4 %	2.5	114	26 %	1856	
41	1365	7 %	< 7	< 242	2.3/75	2258	
11	546	13 %	4.3	189	29 %	1590	
22	710	10 %	5.3	167	33 %	1866	
< 9	< 164	4.8/79	< 4.3	< 72	4/63	-92	
< 6	< 100	1.7/29	< 4.7	< 80	1.4/23	472	
< 3	< 50	1.7/30	< 3	< 53	1.4/24	-34	
< 2.5	< 57	1.3/29	< 1.7	< 39	1/24	-68	
< 7	< 109	2/30	< 3.5	< 49	1.7/24	558	
< 4.3	< 80	1.6/30	< 2.7	< 49	1.3/24	98	
0.9	22	50 %	1	23	36 %	184	
						<u>Total γ</u>	
pC/1			pC/1			pC/m ²	pC/1
37	721	5 %	10	195	12 %	2507	128.6
60	358	5 %	16	95	15 %	1194	200.4
67	378	5 %	16	90	15 %	1163	206.2
57	125	9 %	13	28	33 %	490	223.0
26	335	4 %	5	64	15 %	855	66.2
15	229	8 %	5	76	17 %	770	50.2
9	110	10 %	6	73	12 %	577	47.4

T a b e l l e 10

Verhältnis der Aktivitäten in pC/m^2 von unbedeckten zu bedeckten Blättern von Kresse, bzw. Gras

		Radionuklid	Mittelwert	Streuung
<u>Gras</u>		Ce-144	5.12	1.10
		Sb-125	5.1	1.6
		Ru-106	4.44	0.92
		Cs-137	3.9	1.0
		Mn-54	3.6	0.7
		Total- γ	3.3	0.85
		K-40	1.43	0.46
<u>Kresse</u>	Blätter, Boden 1	Ru-106	1.3	0.25
		Cs-137	2.3	0.37
		Total- γ	1.75	0.31
		K-40	0.91	0.14
	Boden 2	Ru-106	1.86	0.5
		Cs-137	2.15	0.38
		Total- γ	1.79	0.29
		K-40	1.88	0.69
	Wurzeln, Boden 1	Ru-106	1.45	0.5
		Cs-137	1.75	0.75
		Total- γ	1.79	0.78
		K-40	0.93	0.12
	Boden 2	Ru-106	1.4	0.11
		Cs-137	1.02	0.34
		Total- γ	1.81	0.41
		K-40	0.97	0.021

T a b e l l e 11

Vergleichsfaktoren für Gemüse und Getreide

		<u>V-Wert</u>	<u>T-Wert</u>	<u>Bodeneinfluss %</u>	<u>Q^o Ertrag</u>
Weizenspreu	□ 1:	$d_{Ce} = 0.029$	0.035	34	0.07
		$d_{Cs} = 0.037$	0.016	36	
		$d_{Sr} = 0.360$	0.017	34	
		$d_{tot \gamma} = 0.017$	0.0064	43	
Haferspreu	□ 2:	$d_{Ce} = 0.014$	0.016	21	0.021
		$d_{Cs} = 0.011$	0.0046	42	
		$d_{Sr} = 0.140$	0.005	36	
		$d_{tot \gamma} = 0.0058$	0.0021	47	
Gerstenspreu	□ 3:	$d_{Ce} = 0.019$	0.023	32	0.053
		$d_{Cs} = 0.032$	0.014	26	
		$d_{Sr} = 0.290$	0.014	26	
		$d_{tot \gamma} = 0.011$	0.0042	49	
Bohnenstauden	○ 4:	$d'_{Ce} = 0.032$	0.042	67	12
		$d'_{Cs} = 0.100$	0.037	49	
		$d'_{tot \gamma} = 0.0044$	0.0021	94	
Rüeblikraut	○ 5:	$d'_{Ce} = 0.100$	0.120	0.1	0.33
		$d'_{Cs} = 0.097$	0.036	16	
		$d'_{Sr} = 0.350$	0.056	10	
		$d'_{tot \gamma} = 0.045$	0.022	43	
Kartoffelstauden Benedetta	△ 6:	$d'_{Ce} = 0.130$	0.130	3	0.53
		$d'_{Cs} = 0.230$	0.130	5	
		$d'_{Sr} = 2.500$	0.220	0.5	
		$d'_{tot \gamma} = 0.091$	0.054	20	
Kartoffelstauden Cosima	○ 7:	$d'_{Ce} = 0.280$	0.290	2	0.9
		$d'_{Cs} = 0.490$	0.300	3	
		$d'_{tot \gamma} = 0.180$	0.084	26	

Vergleichsfaktoren für Gemüse und Getreide

			<u>V-Wert</u>	<u>T-Wert</u>	<u>Bodeneinfluss %</u>	<u>Q Ertrag</u>
Selleriekraut	O 8:	d'_{Ce}	= 0.075	0.074	41	1.8
		d'_{Cs}	= 0.052	0.015	82	
		d'_{Sr}	= 0.950	0.180	30	
Kohl-Blätter	O 10:	d_{Ce}	= 0.020	0.021	50	2.9
		d_{Cs}	= 0.033	0.010	61	
		d_{Sr}	= 0.650	0.130	15	
		$d_{tot \gamma}$	= 0.032	0.013	57	
Lauchstengel	▲ 12:	d'_{Sr}	= 0.016	0.0029	93	5.5
Blumenkohlblätter	O 13:	d_{Ce}	= 0.040	0.048	28	1.5
		d_{Cs}	= 0.019	0.0059	91	
		d_{Sr}	= 2.500	0.290	10	
		$d_{tot \gamma}$	= 0.076	0.032	50	
Zuckerrübenkraut	O 16:	d'_{Ce}	= 0.230	0.170	1.6	0.64
		d'_{Cs}	= 0.290	0.130	4	
		d'_{Sr}	= 1.090	0.088	6	
		$d'_{tot \gamma}$	= 0.180	0.064	9	

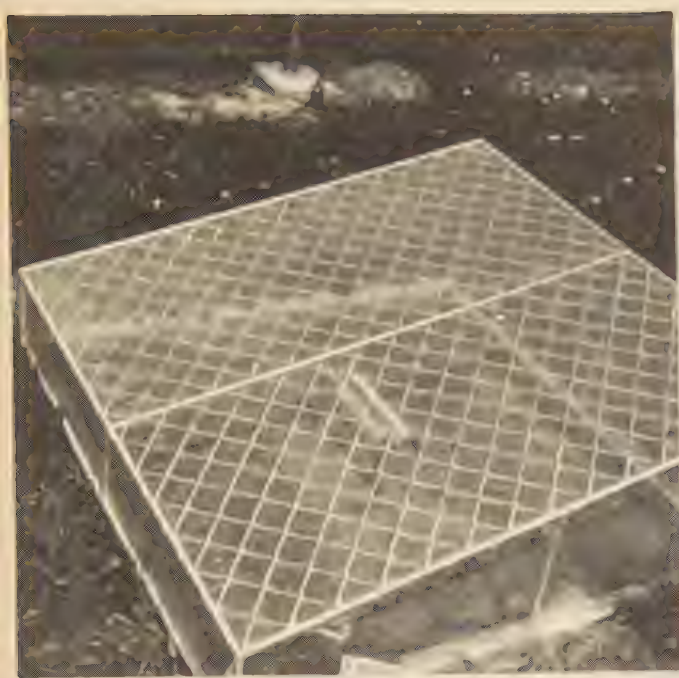


Fig. 1

Flasliktreibkasten geschlossen

Fig. 2

Temperaturmessung im bedeckten Beet



Fig. 3

Gruppe unbedeckt

Fig. 4

Gruppe bedeckt

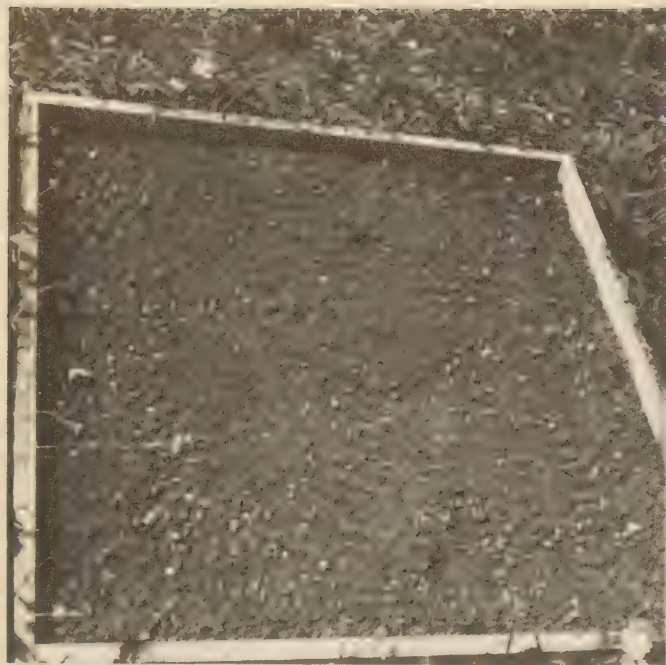


Fig. 5
Kreuzboden (1. Woche)



Fig. 6
Kreuzboden (1. Woche)



Fig. 7
Kreuzboden (1. Woche)

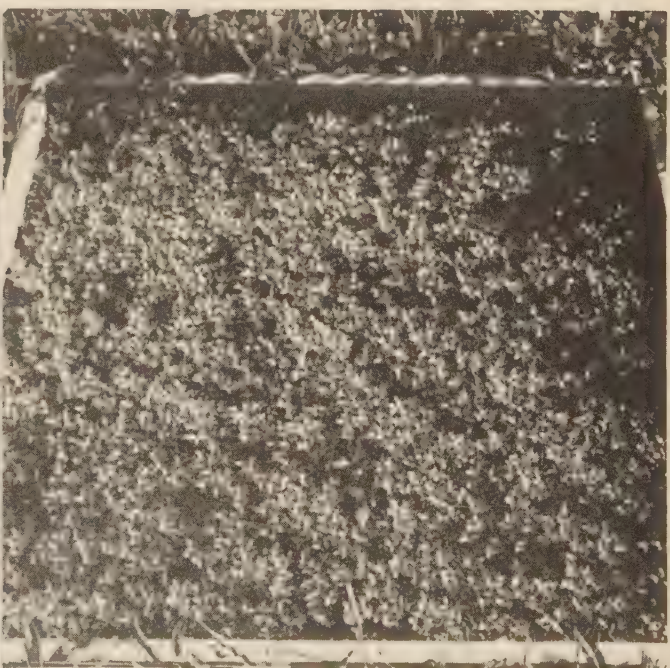


Fig. 8
Kreuzboden (3. Woche)

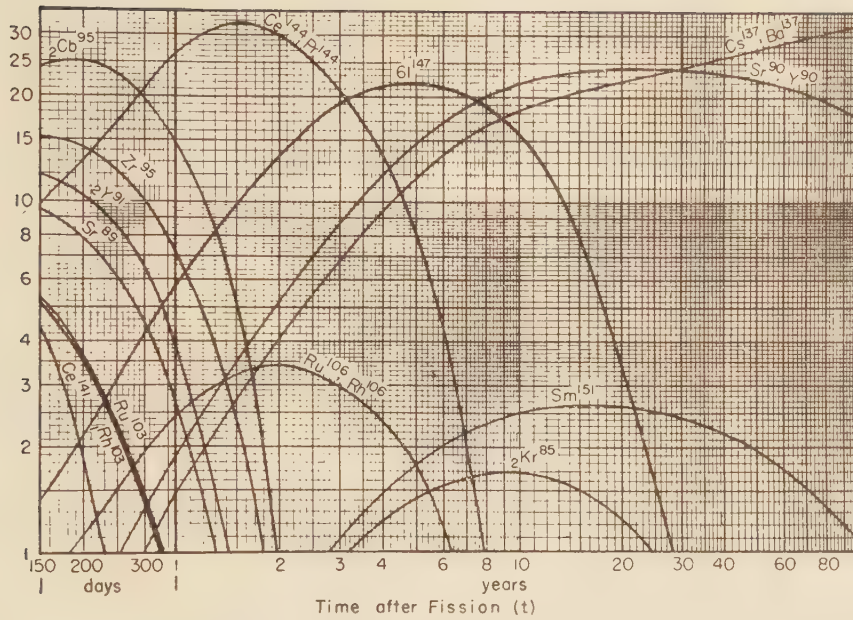
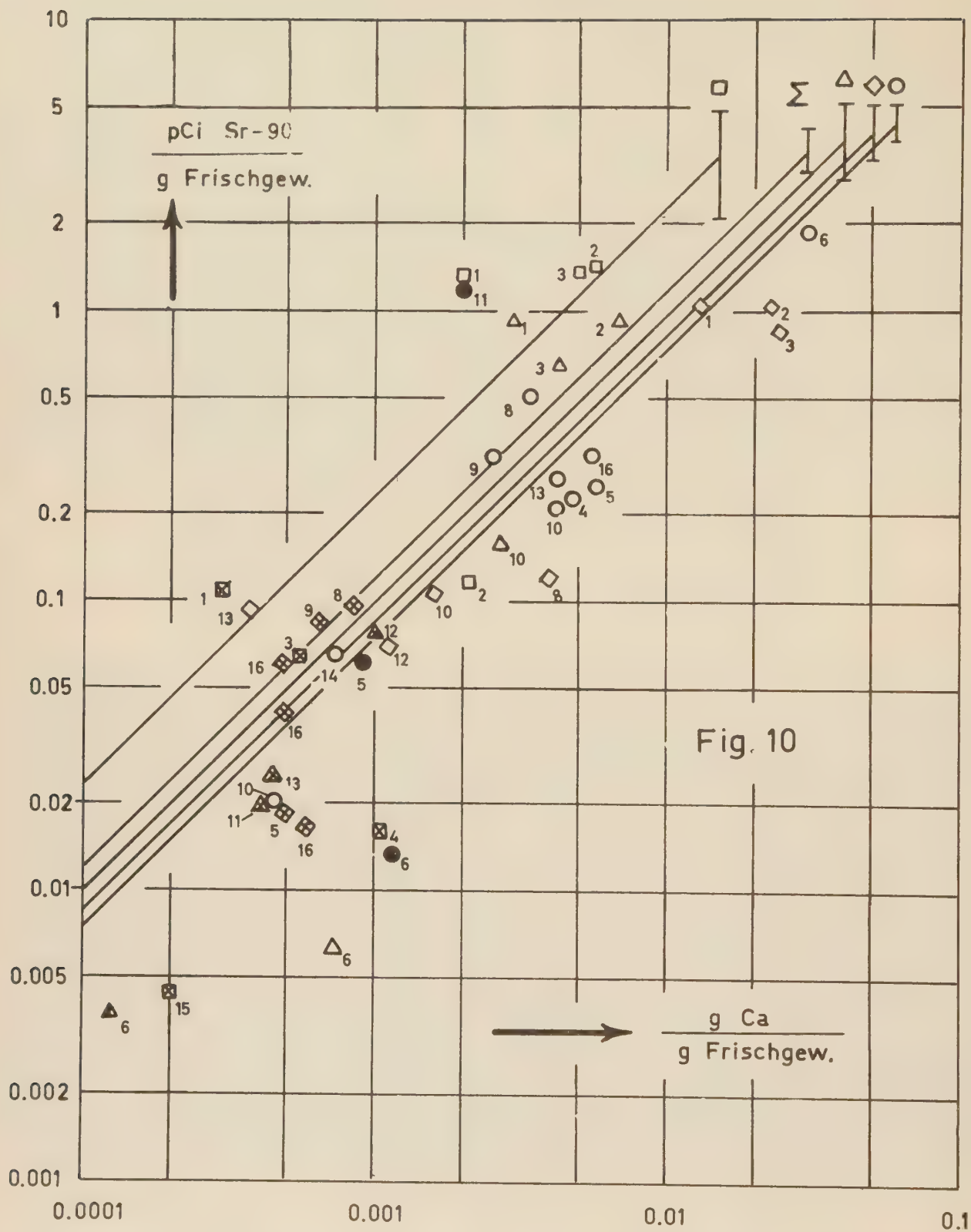
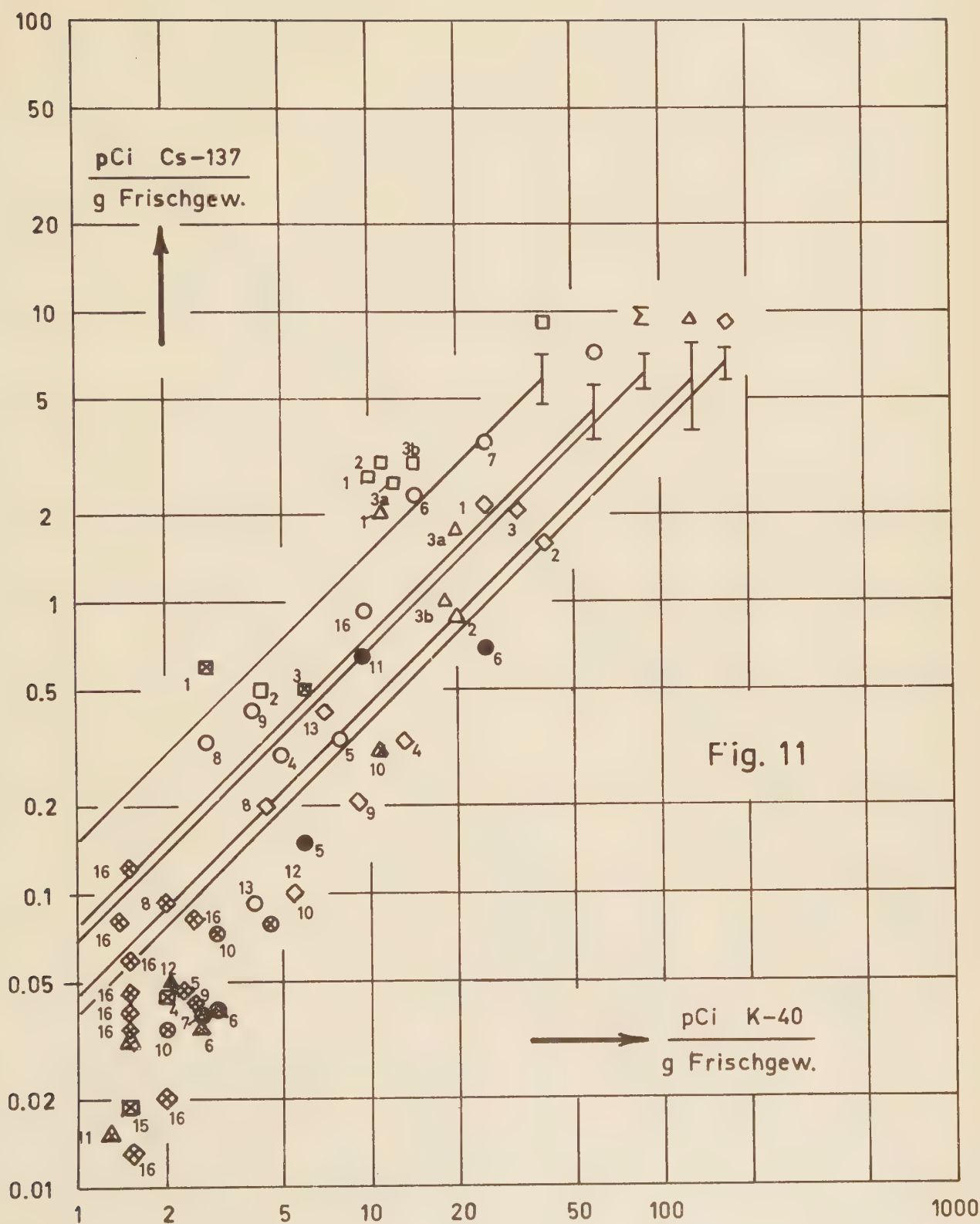
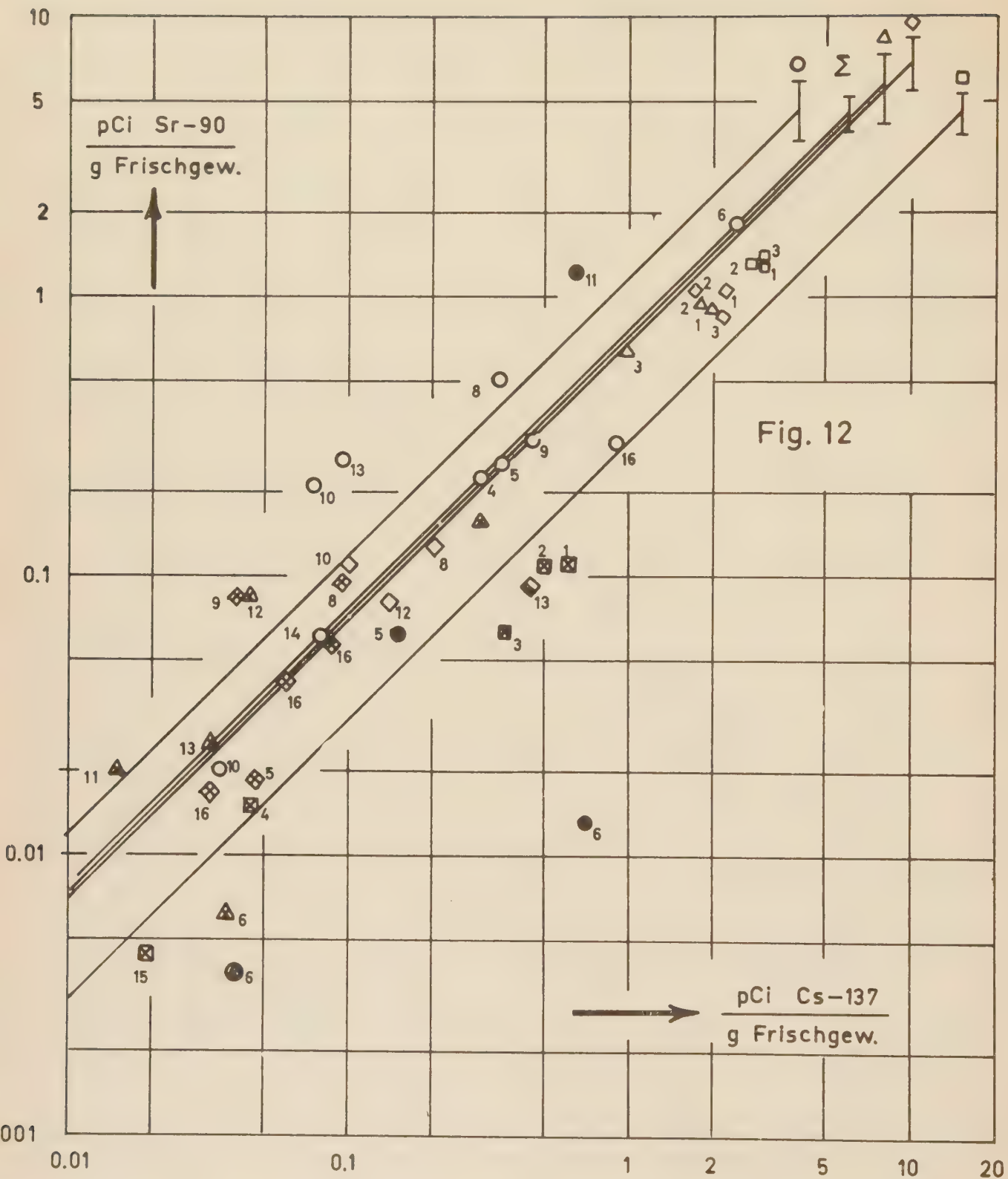
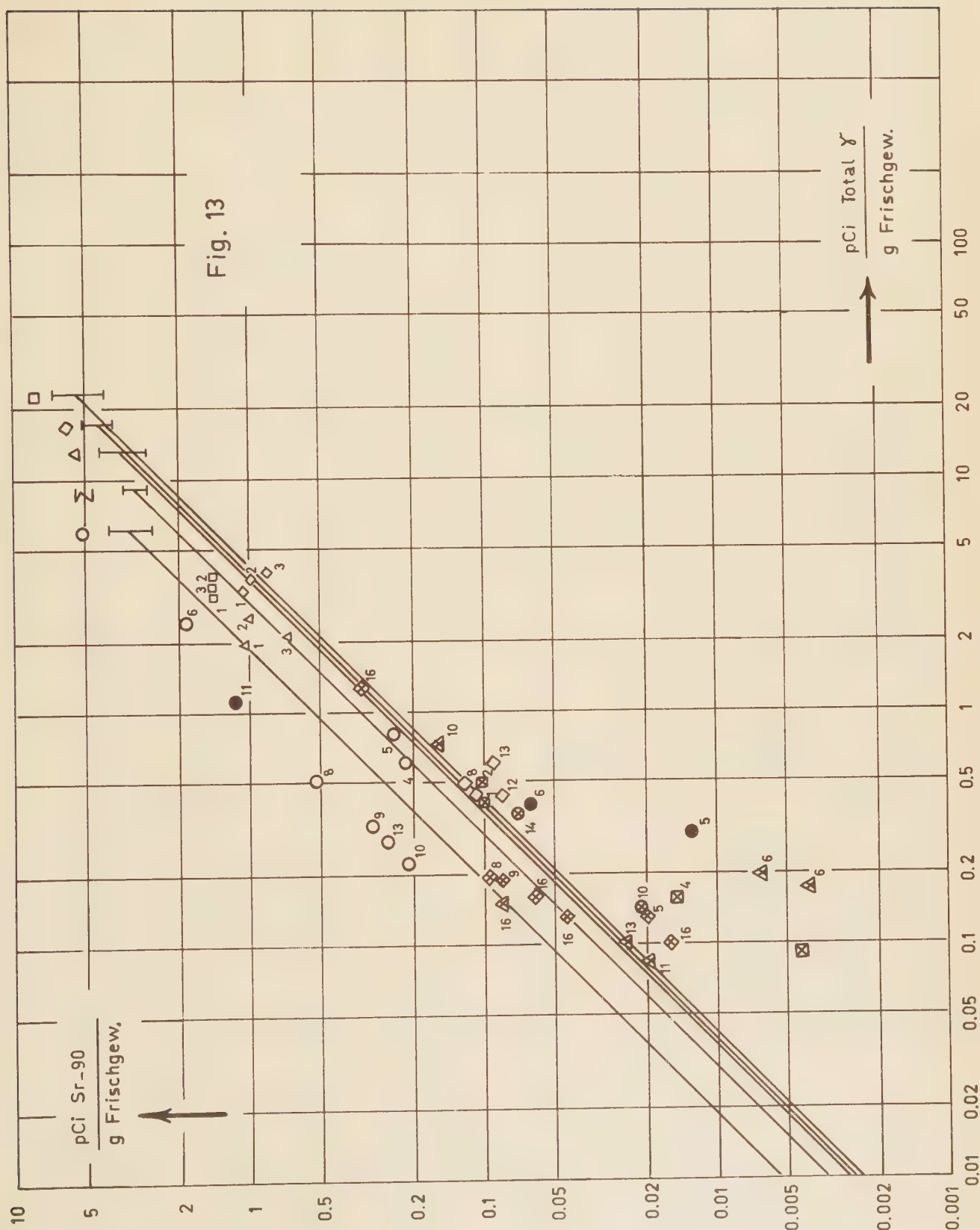


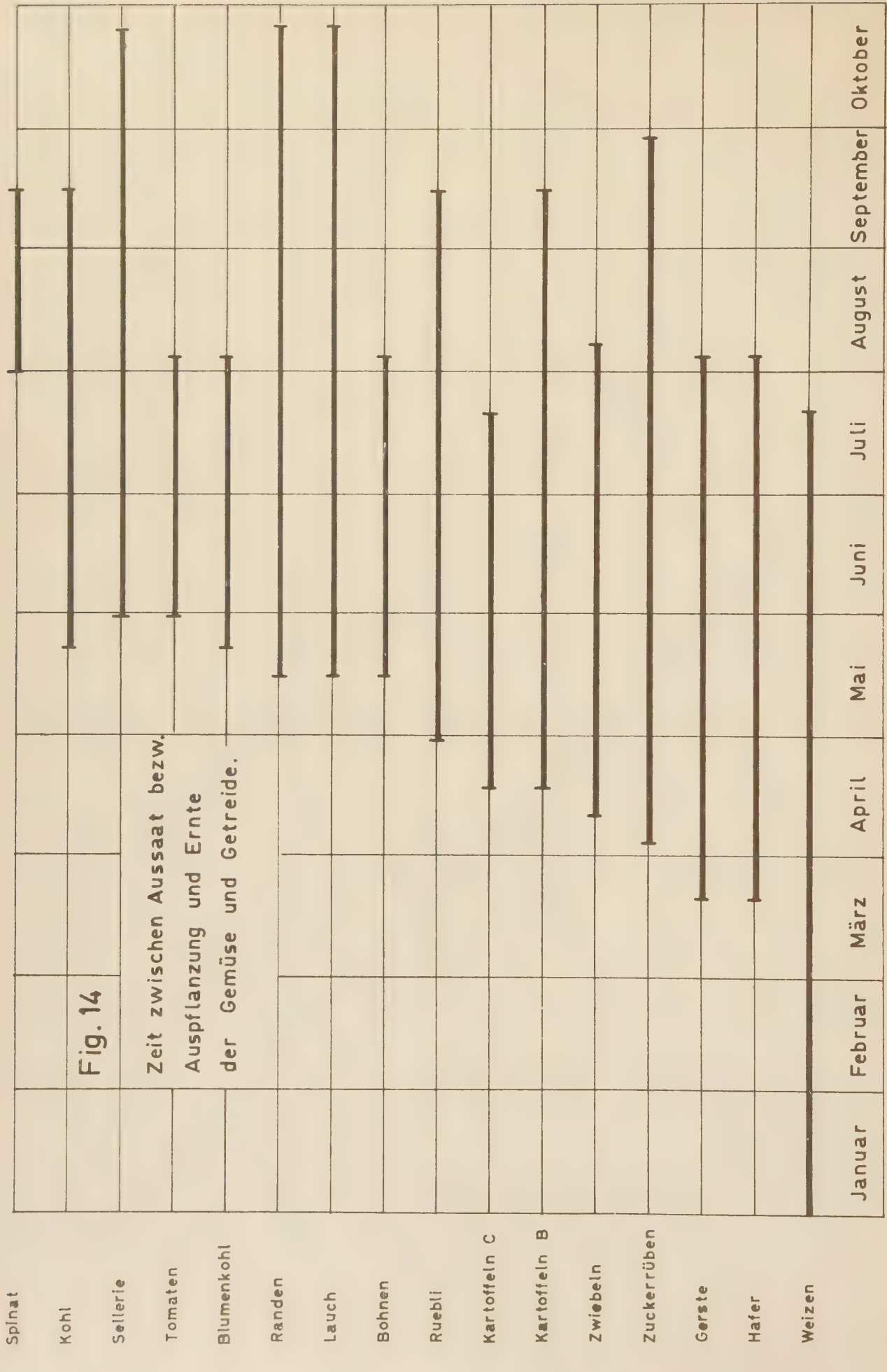
Fig. 9 Prozentualer Anteil der einzelnen Elemente an der totalen Spaltproduktaktivität zu verschiedenen Zeiten nach nuklearen Detonationen (4)

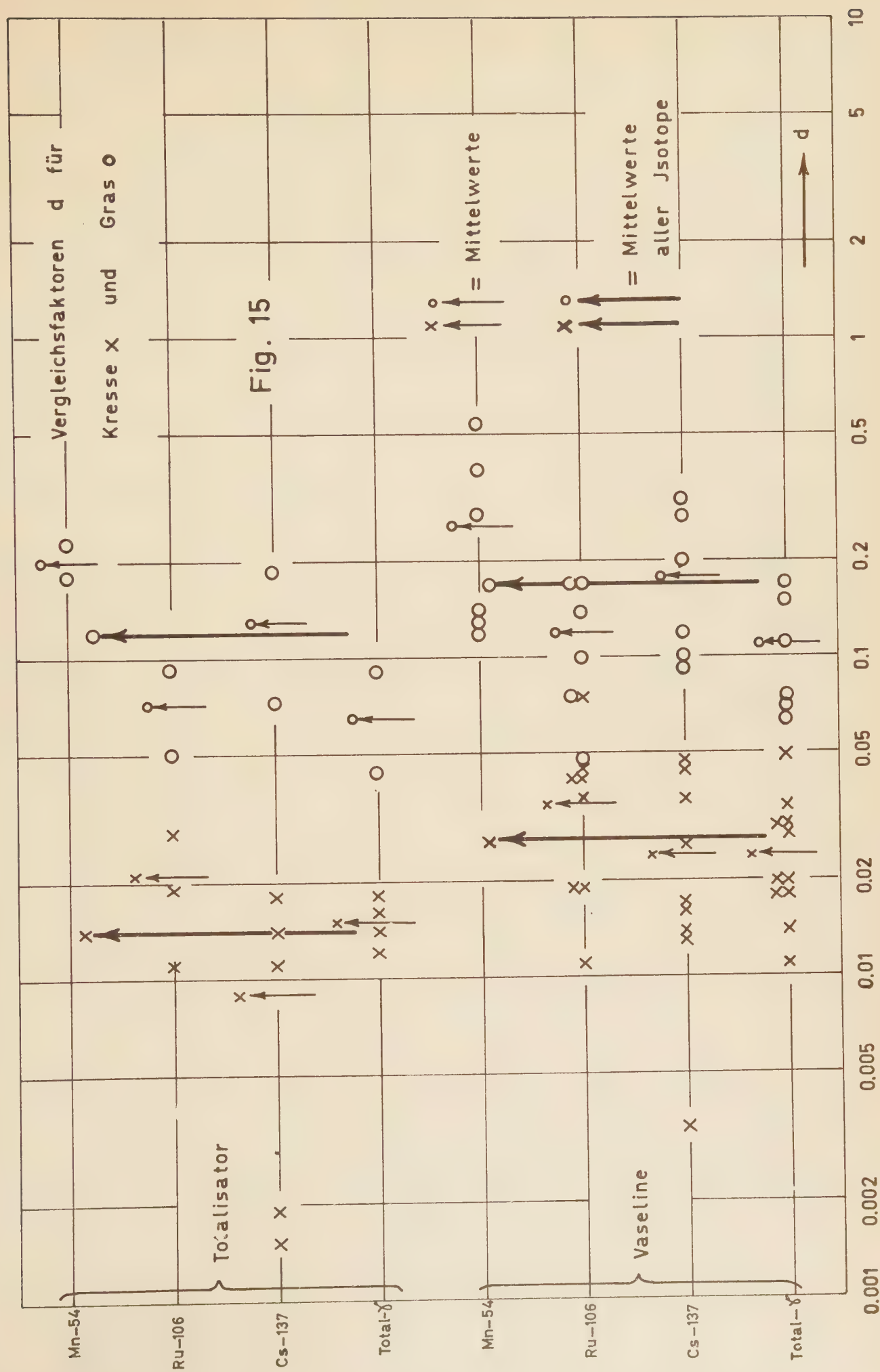


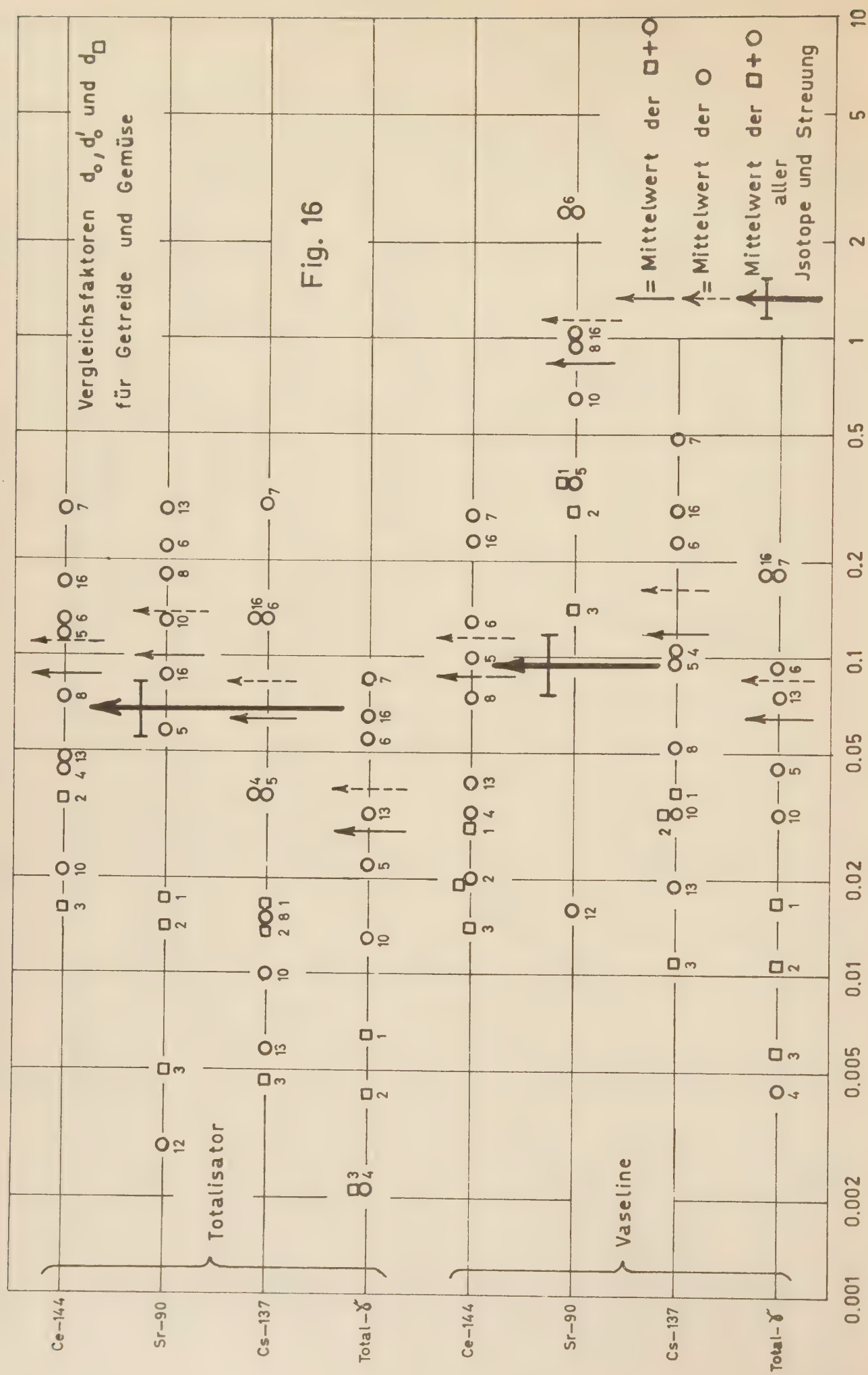


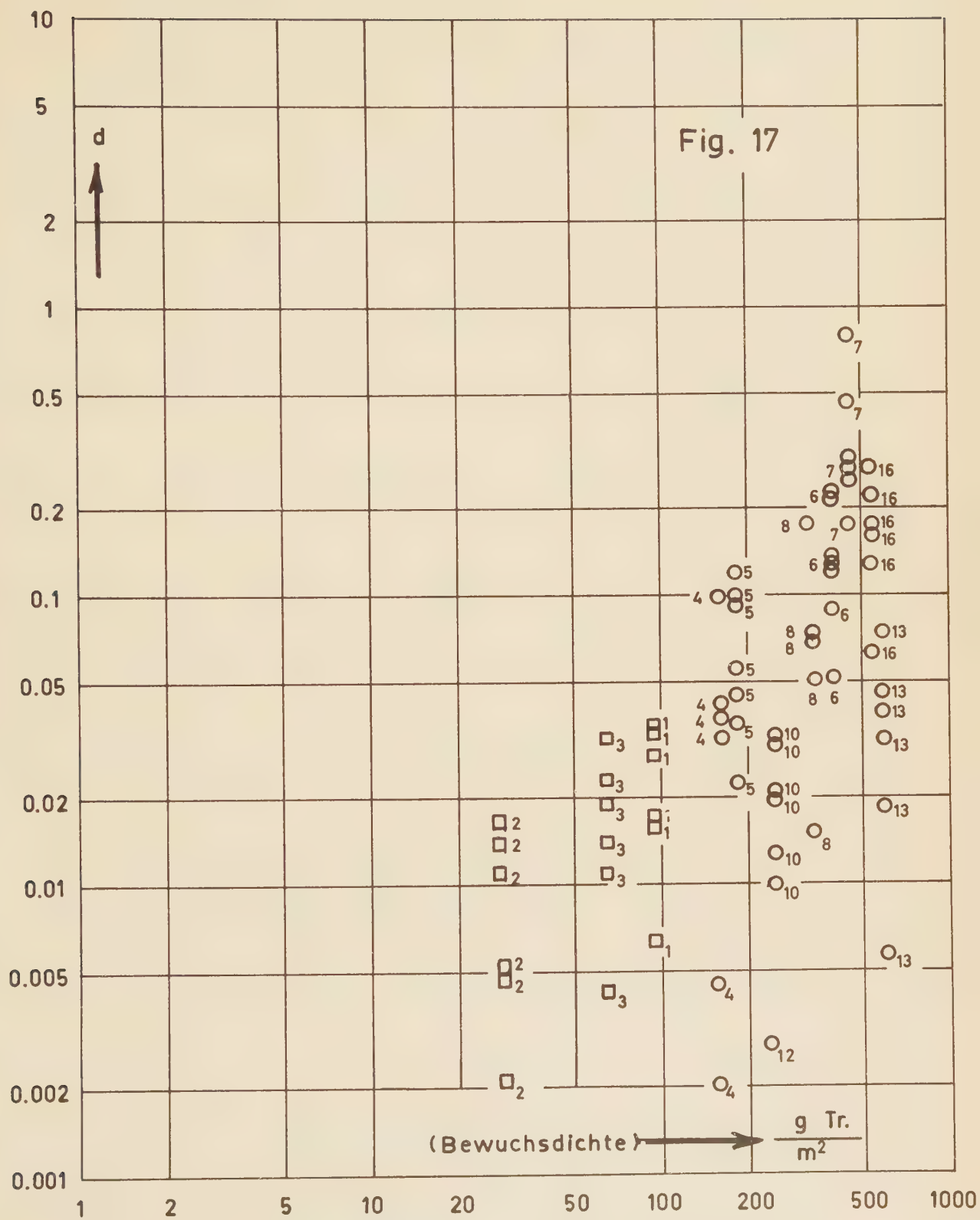












LITERATURVERZEICHNIS

- (1) P. Courvoisier, E. Nagel: "Méthode de collection différentielle des recombées radioactives", Interner EIR-Bericht TM-SU-49, 1963
- (2) Generalvertretung Brogli + Co., Elisabethenstrasse 44, Basel
- (3) A. Comunetti: "A New Gain Stabilizing System for Scintillation Spectrometers", Nuclear Instruments and Methods 37, 1965, p. 125
- (4) H.F. Hunter, N.E. Ballou: "Fission-Product Decay Rates", Nucleonics 9, (5) C-5, 1951
- (5) A. Wytttenbach, J. Patry: "Die Computeranalyse von γ -Spektrogrammen, Ueberlegungen und Erfahrungen", Interner EIR-Bericht TM-CH-71, 1965
- (6) A. Läuchli: "Ueber die Aufnahme von Strontium durch höhere Pflanzen", Berichte der schweiz. Botanischen Gesellschaft; Band 72, 1962, S. 147
- (7) M.J. Bukovac, S.H. Wittwer, H.B. Tukey: "Above Ground Plant Parts as a Pathway for Entry of Fission Products into the Food Chain to Sr-90,89 and Cs-137", in Chapter 5, p. 82 from Radioactive Fallout, Soils, Plants, Foods, Man edited by E.B. Fowler, Elsevier Publ. Comp. N.Y., 1965
- (8) P. Frei: "Die Aufnahme von Strontium durch Zea Mays L. in Mischkultur mit Bodenpilzen", Berichte der schweiz. Botanischen Gesellschaft, Band 73, S. 21, 1963
- (9) H. Nishita, E.M. Romney, K.H. Larson: "Uptake of Radioactive Fission Products by Plants", Chapter 4, p. 55 from Radioactive Fallout, Soils, Plants, Foods, Man edited by E.B. Fowler, Elsevier Publ. Comp. N.Y., 1965
- (10) R.F. Reitemeier: "Progr. Rept. Soils and Plant Relationships Sect., U.S. Dept. Agr., June, 1955
- (11) R.G. Menzel, D.L. Myhre, H. Roberts jr.: Science, 134 (1961) p. 559
- (12) E.M. Romney, W.A. Rhoads, K.H. Larson: "U.S. Atomic Energy Commission Doc. UCLA-294, 1954, p. 28
- (13) R.S. Russell, H.M. Squire, R.P. Martin: Atomic Energy Res. Establ. (G.B.) Doc., AERE/SPAR/3, 1955, p. 74

- (14) D.F. Peppard, G.W. Mason, J.L. Maier, J.W. Drisoll:
"Fractional Extraction of the Lanthonides as Their
Di-Alkyl Orthophosphates", J. Inorg. Nuclear Chemistry
4, 1957, p. 334
- (15) H.G. Petrow: "Rapid Determination of Sr-90 in Bone Ash
via Solvent Extraction of Y-90". Analytical Chemistry
37, 4, 1965, p. 584-86
- (16) H.R. Bächli: "Die Bestimmung von Sr-90 im Boden", Inter-
ner EIR-Bericht TM-SU-15, 1961
- (17) W. Haueter: "Ca-Sr-Trennung an Ionenaustauschern", In-
terner EIR-Bericht TM-SU-29, 1962
- (18) G. Schwarzenbach, H. Flaschka: "Titration mit Hilfe
von Komplexonen", Verlag Firma Siegfried AG, Zofingen,
p. 17.

VERDANKUNGEN

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. F.G. Houtermans danke ich für sein Interesse und seine Anregungen, die er dieser Arbeit entgegengebracht hat. Herrn Dr. P. Courvoisier, unter dessen umsichtiger Leitung diese Arbeit entstanden ist, danke ich für seine stete Unterstützung und seine guten Ratschläge.

Den Herren Dr. S. Aegerter und Dr. A. Comunetti danke ich für zahlreiche anregende Diskussionen und wertvolle Ratschläge. Dem Leiter der Abteilung Strahlenüberwachung des EIR, Herrn Dr. F. Alder, danke ich für die Möglichkeit, diese Arbeit in seiner Abteilung durchführen zu können. Herrn H.R. Bächli und der Gruppe Analytischer Dienst EIR danke ich für die zuverlässige Durchführung von chemischen Analysen. Herren E. Frank und der Gruppe Rechenzentrum EIR danke ich für die Erstellung des Auswertungsprogrammes und für die mir zur Verfügung gestellte Maschinenzeit. Weiter danke ich den Herren W. Brunner, A. Finsterwald und J. Hitz für zahlreiche allgemeine Arbeiten im Zusammenhang mit der Gewinnung der Pflanzenproben und der Auswertung.

Den landwirtschaftlichen Versuchsanstalten in Wädenswil und Oerlikon, vor allem ihren Direktoren, den Herren Dr. R. Fritsche und Dr. R. Salzmann, danke ich für die mir zur Verfügung gestellten landwirtschaftlichen Produkte, die diese Arbeit ermöglichen.

Der Direktion des EIR danke ich für die finanzielle Unterstützung.

CURRICULUM VITAE

Am 20. Juli 1940 wurde ich, Irene M e r k, heimatberechtigt in Zürich, als Tochter des Rudolf Merk, alt Vize-Direktor, und der Elisabeth, geborenen Huber aus Mägenwil AG, in Bern geboren.

Nach einer Primarschulzeit von 4 Jahren und einer Progymnasialzeit von 4 Jahren trat ich im Frühjahr 1955 ins städtische Gymnasium ein. Im Herbst 1958 bestand ich die kantonale Maturitätsprüfung Typus B. Im Frühjahr 1959 immatrikulierte ich mich an der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern und bestand im Juli 1963 das Lizentiat im Hauptfach Physik und den Nebenfächern Mathematik und Astronomie.

Im April 1964 begann ich im Eidg. Institut für Reaktorforschung in Würenlingen mit der Ausarbeitung der Dissertation.

